



**Thèse pour obtenir le grade de docteur  
de l'Université de Bourgogne (UB), Dijon, France**  
École Doctorale Environnements, Santé  
Spécialité : Agronomie

Équipe : UMR 1347 Agroécologie (INRA, AgroSup Dijon, UB)  
Pôle Ecologie des Communautés et Durabilité des Systèmes Agricoles (ECOLDUR)  
Institut National de la Recherche Agronomique,  
17 rue Sully, F-21000 Dijon, France.

PRÉSENTÉE PAR

**Nawel AOUADI**

**Evaluation *ex ante* des conséquences de l'adoption de  
la production intégrée en grandes cultures à l'échelle  
de la Bourgogne**

Date de soutenance

30/10/2015

**Devant le jury :**

Prof. François BRETAGNOLLE  
Dr. habil. Philippe DEBAEKE  
Prof. Jacques WERY  
Dr. Catherine MIGNOLET  
Dr. Nicolas MUNIER-JOLAIN  
Prof. Jacques CANEILL

Université de Bourgogne  
INRA Toulouse  
SupAgro, Montpellier  
INRA Mirecourt  
INRA Dijon  
AgroSup-Dijon

Président  
Rapporteur  
Rapporteur  
Examinatrice  
Directeur de thèse  
Co-directeur de thèse



**Agroécologie**  
Dijon  
Unité de Recherche



Ce travail a bénéficié d'un soutien financier de la Région Bourgogne (demi-bourse de thèse) et du Département Environnement & Agronomie de l'INRA (demi-bourse de thèse).

Ce travail a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme Investissements d'avenir portant la référence ANR-10-EQPX-17 (Centre d'accès sécurisé aux données - CASD).



## Remerciements

Mes premiers remerciements s'adressent tout d'abord à mes directeurs de thèse, Nicolas Munier-Jolain et Jacques Caneill : Un grand merci à tous les deux de m'avoir donné la chance de vivre cette expérience riche sur le plan scientifique et humain. Merci de m'avoir appris à mener une réflexion scientifique, de m'avoir fait bénéficier de vos expériences et vos conseils. Merci de m'avoir soutenue jusqu'au bout malgré les difficultés et de m'avoir encouragée pendant les moments de doute que j'ai traversés tout le long de ce parcours.

Je remercie également les membres du jury qui ont accepté d'évaluer mon travail de thèse : les rapporteurs Jacques Wery et Phillippe Debaeke, ainsi que Catherine Mignolet et François Bretagnolle.

Je tiens aussi à remercier les membres de mon comité de pilotage : Jean-Noël Aubertot, Nathalie Colbach, Jean Roger-Estrade, Laurence Guichard et Marie-Sophie Petit pour leurs précieux conseils pendant les réunions de comité de pilotage mais aussi en dehors. Merci Laurence de m'avoir fourni les données et documents nécessaires pour commencer à travailler et pour le temps que tu m'as consacré lors de nos réunions de travail. Merci Marie-Sophie pour ta disponibilité, ton expertise et pour ton aide pour contacter les conseillers agricoles. Merci Jean-Noël pour les apports précieux notamment pour l'article et le soutien moral. Merci Nathalie de m'avoir écouté quand j'en avais besoin et pour tes précieux conseils.

Ma reconnaissance et mes remerciements vont également à Stéphane Blancard du CEASER et Henri Bertrand Lefer. Merci d'avoir accepté de collaborer avec nous sur les aspects modélisation et d'avoir été disponible.

J'adresse aussi mes remerciements les plus vifs à toutes les personnes qui m'ont aidée à me procurer les données nécessaires pour mener à bien ce travail :

Les collègues de l'INRA de Mirecourt : Marc Benoît, Catherine Mignolet et Céline Schott ; les collègues d'AgroSup Dijon : Marjorie Ubertosi, et Thierry Castel ; Mohamed Hilal (UMR CESAER) ; Florence Jacquet (INRA Montpellier) pour la formation sur le logiciel GAMS, Hatem Behouchette (SupAgro Montpellier) pour m'avoir fourni l'accès au logiciel.

Les conseillers agricoles des Chambres d'Agriculture de Bourgogne : Eric Bizot, Michaël Geloën, Antoine Villard pour leur expertise.

Les collègues du domaine expérimental d'Epoisses Dijon : Pascal Farcy et Vincent Cellier.

Les collègues à l'INRA de Dijon : Blandine Raffiot et Anthony Klein.

Un grand merci à tout le 'bâtiment COSTE' pour l'accueil et l'ambiance de travail :

**Claudine**, un grand merci tout d'abord pour ta bonne humeur et ton sourire mais aussi pour avoir simplifié ma vie à l'INRA ;

**Gilles**, merci d'avoir partagé mon bureau et de m'avoir soutenue et encouragée ;

**Luc**, merci de m'avoir aidée pour le traitement des données et de m'avoir dépanné plusieurs fois sur une panne de micro.

**Fabrice**, merci pour les formations sur le logiciel R et les méthodes d'analyses statistiques qui m'ont beaucoup servi pour traiter mes données et de m'avoir aidé plusieurs fois sur mes analyses statistiques

**Martin**, merci beaucoup pour ta bonne humeur, ta gentillesse et ton aide quand j'en avais besoin.

**Rémi**, un grand merci pour les échanges qu'on a eus, pour ta disponibilité et ton aide notamment pour les statistiques.

**Benoît**, merci pour ton soutien et tes conseils surtout pour préparer mon orale et pour ton amitié.

Merci à tous les autres : **Sarah, Floriane, Florent, Stéphanie, Tossimidea, Morgane, Stéphane...**

Je finis par remercier une personne qui me tient beaucoup à cœur : **Violaine**, tu es beaucoup plus qu'une collègue de bureau et une amie, tu es une sœur de cœur. Un grand merci pour tout : pour les moments qu'on a partagés à se raconter notre vie de thésard, pour ton soutien et encouragement pendant les moments de doute, pour ta gentillesse et ta disponibilité en toute circonstance et pour ton aide si précieuse pour finaliser mon manuscrit. Merci surtout d'être toi et bon courage pour la fin de la thèse. J'espère être là pour toi.

A titre personnel je souhaite remercier ma famille. Mes parents et mon frère, pour leur amour, pour avoir cru en moi et pour avoir été toujours là même en étant loin.

Je dédie cette thèse à mon mari, qui a été mon plus grand soutien pour la thèse mais aussi pour la vie et à mon fils ma plus grande source de motivation.

## Résumé

L'agriculture française est soumise à de fortes pressions. Elle subit une injonction forte à évoluer vers l'agroécologie, à adopter les principes de la production intégrée, à réduire l'usage de pesticides. Dans ces conditions, une transition vers des systèmes agricoles plus respectueux de l'environnement ne doit pas dégrader la compétitivité des exploitations et le revenu des agriculteurs.

Le travail présenté ici a pour ambition de contribuer à la réflexion sur les possibilités de changer les modèles d'agriculture. L'objectif est d'évaluer les conséquences économiques et environnementales d'une adoption généralisée des principes de protection intégrée sur une région agricole en fonction de la diversité des situations de production. La Région Bourgogne est retenue dans le cadre de ce travail. Elle dispose de ressources expérimentales en production intégrée grâce à l'investissement historique de la recherche, du développement et de l'enseignement agricole dans cette région. Par ailleurs, la Bourgogne présente un bon compromis entre la diversité de ses situations de production en grandes cultures et le nombre de situations contrastées à considérer pour rendre compte de l'ensemble du territoire.

Dans un premier temps, nous avons caractérisé la diversité des situations de production de la Bourgogne et la diversité des systèmes de culture, et nous avons étudié comment les systèmes de culture sont déterminés par les situations de production. Puis nous avons mis en place une méthode pour générer des systèmes de culture optimisés sur le plan économique dans le cadre des contraintes locales et des principes de protection intégrée. Cette méthode mobilise la programmation linéaire sous contrainte, mise en œuvre avec le logiciel GAMS. Elle a été testée pour deux situations de production contrastées de la Bourgogne, correspondant aux zones de plaines sans élevage et aux plateaux argilo-calcaires superficiels. Nous avons évalué les systèmes de culture simulés pour un ensemble de critères de la durabilité économique, sociale et environnementale. Nous les avons comparés aux performances des systèmes actuels dans ces milieux.

Les résultats confirment que les systèmes de culture optimisés avec les principes de la protection intégrée sont différents en fonction du contexte de production. La performance économique est plutôt améliorée par rapport aux systèmes actuels dans la situation à fort potentiel, alors qu'elle est dégradée sur les sols de plateaux. Tous les indicateurs environnementaux considérés sont améliorés dans les deux types de milieu. Le travail permet d'identifier certains inconvénients de la protection intégrée, liés à l'augmentation de la charge de travail et à la complexité de gestion des systèmes.

Avec les résultats obtenus et les méthodes proposées, le travail alimente les débats sur la durabilité des systèmes agricoles dans le domaine des grandes cultures.

**Mots-clés :** Production intégrée, situation de production, système de culture, typologie, durabilité, évaluation multicritère, programmation linéaire, échelle territoriale



## Abstract

The agriculture in France is under intense pressure. Farmers are asked to change their crop management, to evolve toward agroecology, to follow the principles of Integrated Pest Management (IPM) and to reduce pesticide use. However such an evolution toward an alternative agricultural model will be possible only if innovative cropping systems are able to maintain competitive and profitable farms.

The aim of our work is to contribute to the debates about this issue, by evaluating *ex ante* the potential consequences of adopting the principles of IPM over one whole agricultural region, taking into account the diversity of production situations within this region. We considered the Burgundy region for several reasons. This region has many experimental resources and available expertise on IPM. This agricultural area also has few but contrasted production situations. Both economic and environmental issues were considered.

First, we studied the diversity of production situations and of cropping systems in the area, based on agricultural data sets, and we showed to what extent cropping systems are determined by the context. Then we developed a method to design fictive cropping systems, based on the optimisation of profitability while fulfilling the principles of IPM, and considering the constraints of the production situation. We used the GAMS software to implement this method based on linear programming. The method was tested on two contrasted production situations, namely the lowlands with high agricultural potential and no livestock, and the shallow soils of the plateau. We evaluated the generated cropping systems for a range of criteria covering different issues of sustainability, and we compared the performances to those of current cropping systems in these areas.

Results corroborated that IPM-based cropping systems would be different in contrasted production situations. Profitability would be improved in the lowlands with high agricultural potential, whereas it would be negatively affected in the shallow soils of the uplands. All the environmental indicators that we used would be improved in both situations. Our work identified hindrances for the development of IPM, related for example to the increase in the workload at the farm level, and the increase in the system complexity.

Both methods that we developed and the results we obtained should contribute to the current debates about the possible transition of arable cropping toward sustainability.

**Keywords:** IPM, production situation, cropping system, typology, sustainability, multi criteria evaluation, linear programming, territorial scale

## Table des matières

<b>Résumé .....</b>	<b>7</b>
<b>Table des tableaux.....</b>	<b>13</b>
<b>Table des illustrations .....</b>	<b>14</b>
<b>Introduction générale.....</b>	<b>16</b>
1. Des changements nécessaires pour une agriculture plus durable .....	16
2. Différentes stratégies pour améliorer la durabilité des systèmes agricoles .....	17
3. Vers une évaluation multicritère des systèmes agricoles .....	19
4. Des pratiques agricoles adaptées aux contextes de production .....	20
5. Objectifs de la thèse et hypothèses de travail .....	20
6. Organisation du document.....	21
<b>Chapitre I. Problématique : concepts, contexte et état de l'art.....</b>	<b>24</b>
I.1. Définition des concepts : assolement, succession de culture, itinéraire technique, système de culture, situation de production .....	24
I.2. Caractérisation des systèmes de culture à l'échelle régionale.....	25
I.3. Protection intégrée (PI) pour réduire le recours aux pesticides de synthèse .....	26
I.3.1. Définition de la protection/production intégrée et évolution du concept .....	26
I.3.2. Approche systémique en production intégrée et échelles spatio-temporelles .....	27
I.3.3. Leviers de gestion des bioagresseurs alternatifs aux pesticides .....	29
I.3.3.1. Leviers de gestion de la flore adventice .....	29
I.3.3.2. Leviers de gestion des maladies et ravageurs.....	32
I.4. Impacts potentiels des stratégies de protection intégrée sur les différents volets de la durabilité .....	33
I.4.1. La diversification des cultures : intérêts et difficultés.....	33
I.4.2. Conséquences potentielles des autres leviers de la protection intégrée .....	35
I.5. Méthodes d'évaluation de la durabilité systèmes de culture .....	36
I.5.1. Echelle spatio-temporelles de l'évaluation .....	36
I.5.2. Critères et indicateurs d'évaluation des performances des systèmes agricoles.....	37
I.5.3. Indicateurs simples vs. indicateurs agrégés.....	41
I.6. Méthodes de conception des systèmes de culture .....	42
I.6.1. Conception « pas à pas » conception de novo, prototypage.....	42
I.6.2. Les ressources méthodologiques de la conception de systèmes de culture.....	43

I.6.3. Le cas particulier de la conception assistée par ordinateur .....	46
I.6.3.1. Utilisation des modèles de simulation.....	46
I.6.3.2. Conception par optimisation .....	46
I.7. Démarche retenue pour la thèse .....	47
I.8. Caractéristique du territoire d'étude : La Bourgogne.....	49
I.9. En guise de conclusion.....	51
<b>Chapitre II. Méthodes pour caractériser les systèmes de culture et leurs déterminants à un niveau régional sur l'exemple de la Bourgogne .....</b>	<b>52</b>
II.1. Introduction.....	52
II.2. Analyse des déterminants des systèmes de culture en Bourgogne en fonction du contexte agricole et environnemental .....	54
II.3. Compléments méthodologiques et analyse de données supplémentaires pour caractériser les systèmes de culture et les situations de production en Bourgogne.....	64
II.3.1. Les itinéraires techniques des principales cultures en Bourgogne.....	64
II.3.2. Méthodes de classement des situations de production.....	68
II.3.3. Comparaison des deux classifications de situation de production.....	69
II.3.4. Test de cohérence des typologies de situation de production avec les zones agricoles de Bourgogne .....	71
II.4. Discussion, conclusion .....	74
<b>Chapitre III. Conception et évaluation de systèmes de culture innovants basés sur la protection intégrée avec réduction des intrants .....</b>	<b>79</b>
III.1. Introduction .....	79
III.1.1. Originalité de cette étude.....	79
III.1.2. Choix des contextes de production pour la modélisation.....	79
III.1.3. Démarche suivie pour concevoir des systèmes de culture optimisés économiquement sous contraintes PIC .....	80
III.2. Matériels et méthodes.....	81
III.2.1. Optimisation économique sous contraintes des assolements de cultures .....	81
III.2.2. Evaluation multicritère des systèmes de cultures actuels et PIC : critères et indicateurs d'évaluation.....	89
III.3. Résultats .....	97
III.3.1. Les simulations réalisées dans la zone de la Plaine.....	97
III.3.2. Les simulations réalisées dans la zone des plateaux.....	110
III.4. Discussion .....	120
III.4.1. Assolements générés par GAMS.....	120
III.4.2. Comparaison entre simulations de la Plaine et des plateaux .....	120

III.4.3. Atouts et limites de cette approche d'optimisation .....	121
<b>Chapitre IV : Discussion générale.....</b>	<b>124</b>
IV.1. Caractériser les systèmes de culture à l'échelle régionale.....	124
IV.1.1. Un peu d'histoire.....	124
IV.1.2. Caractériser les successions de culture.....	125
IV.1.3. Caractériser les itinéraires techniques .....	126
IV.1.4. Caractériser les systèmes de culture.....	126
IV.1.5. Caractérisation des situations de production .....	127
IV.1.6. Liens entre situations de production et systèmes de culture. Réflexions sur la démarche adoptée.....	127
IV.2. Perspectives d'une introduction de la protection intégrée en Bourgogne .....	129
IV.2.1. Le programme GAMS, atouts et limites pour notre étude .....	129
IV.2.2. Des résultats contingents de l'expertise .....	129
IV.2.3. Conséquences prévisibles de l'adoption généralisée de la protection intégrée .....	131
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>135</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>139</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>149</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1.Exemples (non exhaustifs) d'indicateurs d'évaluation applicables à l'échelle du système de culture pour quatre méthodes d'évaluation utilisées en France. Les exemples ont été choisis pour illustrer la diversité des domaines de durabilité couverts par ces méthodes d'évaluation. ....	40
Tableau 2 : Nombre de parcelles enquêtées dans le cadre des enquêtes Pratiques Culturelles 2006 du SSP, pour chacune des cultures principales de la Bourgogne .....	52
Tableau 3. Effectifs des types d'itinéraires techniques pour les différentes cultures concernées par les enquêtes « Pratiques culturelles » 2006.....	67
Tableau 4. Description des cinq systèmes de culture 'types' identifiés comme dominants dans la situation de production 'la Plaine'.....	90
Tableau 5. Description des trois systèmes de culture 'types' identifiés comme dominants dans la situation de production 'Plateaux' .....	91
Tableau 6. Variables nécessaires au calcul des coûts énergétiques par type d'activité.....	93
Tableau 7. Caractérisation des successions culturelles pour les six parcelles du scénario PIC1. Les successions pour les autres scénarios sont fournies en annexe. ....	98
Tableau 8. Indices I-Pest calculés pour les systèmes actuels et les systèmes PIC pour les situations de 'La Plaine' .....	100
Tableau 9. Calcul des indicateurs d'évaluation de la robustesse des systèmes de culture : Gravité et fréquences des accidents (seuil de 70% de perte), coefficient de variation de la marge semi-nette calculée.....	105
Tableau 10. Indices I-Pest calculés pour les systèmes actuels et les systèmes PIC dans les plateaux	112
Tableau 11. Indicateurs de robustesse économique des trois systèmes actuels et dix systèmes PIC. .	116

## Table des illustrations

Figure 1. Orientations technico-économiques de l'agriculture en Bourgogne, et carte de la réserve utile des sols .....	49
Figure 2. Analyse de correspondance multiple et classification hiérarchique sur les variables décrivant l'itinéraire technique de l'Orge d'hiver (160 individus) .....	65
Figure 3. Analyse de correspondance multiple et classification hiérarchique sur les variables décrivant l'itinéraire technique de l'orge de printemps (43 individus) .....	65
Figure 4. Analyse de correspondance multiple et classification hiérarchique sur les variables décrivant l'itinéraire technique du colza (229 individus).....	66
Figure 5. Analyse de correspondance multiple et classification hiérarchique sur les variables décrivant l'itinéraire technique du maïs (137 individus).....	67
Figure 6. Analyse d'Hill et Smith sur les variables de situation de production pour 761 parcelles et classification hiérarchique.....	69
Figure 7. Analyse factorielle des correspondances confrontant les deux typologies de situations de production.....	70
Figure 8. Les petites régions agricoles (PRA) en Bourgogne. Source : Direction régionale de l'agriculture et de la forêt (INSEE 2000) .....	72
Figure 9. Regroupement des PRA en Bourgogne en 7 zones sur la base d'expertise .....	73
Figure 10. Confrontation des zones agricoles de la Bourgogne à la classification des situations issues de la méthode CART.....	73
Figure 11. Assolements générés par PL avec le logiciel GAMS pour la Plaine .....	98
Figure 12. Indice de fréquence des traitements (IFT) calculés pour les systèmes actuels et les systèmes conduits en production intégrée dans la plaine.....	100
Figure 13. Efficience énergétique des systèmes de culture PIC et actuels dans la plaine.....	101
Figure 14. Productivité énergétique des systèmes de culture PIC et actuels dans la Plaine.....	102
Figure 15. Coûts énergétiques (Mj/ha) détaillés pour tous les types d'interventions pour les systèmes PIC et actuels dans la Plaine.....	102
Figure 16. Balance azotée calculée pour les systèmes PIC et actuels dans la Plaine .....	103
Figure 17. Variabilité de la marge semi-nette pour les 30 scénarios de prix et de rendement détaillée pour les systèmes PIC et actuels dans la plaine.....	104
Figure 18. Répartition du temps de travail par intervention (h/ha), détaillée pour les systèmes de culture PIC et actuels dans la Plaine.....	106
Figure 19. Temps de travail par quinzaine pour les dix systèmes PIC générés dans la plaine.....	107

Figure 20. Distribution du nombre d'heures de travail par quinzaine détaillée pour un système PIC et deux systèmes actuels de la plaine .....	108
Figure 21. Nombre d'heures de travail disponibles par quinzaine pour le grands types d'intervention (h/ha). Source : Equip' Agro. ....	108
Figure 22. Comparaison des systèmes PIC et actuels pour leurs performances environnementales, sociales et économiques dans la Plaine. ....	109
Figure 23. Assolements générées par programmation linéaire pour les dix scénarios de prix dans les plateaux .....	111
Figure 24. Indice de fréquence des traitements (IFT) pour les systèmes actuels et les systèmes PIC dans les plateaux.....	112
Figure 25. Balance azotée calculée pour les systèmes de culture PIC et actuels dans les plateaux ....	113
Figure 26. Efficience énergétique des systèmes de culture PIC et actuels dans les plateaux.....	114
Figure 27. Coûts énergétiques (Mj/ha) détaillés pour toutes les interventions pour les systèmes de culture PIC et actuels dans les plateaux .....	114
Figure 28. La variabilité de la marge semi-nette pour les 30 scénarios de prix et de rendement détaillée pour les systèmes de culture PIC et actuels.....	115
Figure 29. Temps de travail mécanisé pour les systèmes PIC et actuels (h/ha).....	117
Figure 30. Temps de travail par quinzaine pour les dix systèmes PIC générés en situation de plateaux .....	117
Figure 31. Distribution du nombre d'heures de travail par quinzaine détaillée pour un système PIC et trois systèmes actuels en situation de plateaux.....	118
Figure 32. Comparaison des systèmes PIC et actuels pour leurs performances environnementales, sociales et économiques dans les plateaux .....	119
Figure 33. Analyse en composantes principales des performances des systèmes de culture PIC et actuels pour les deux types de situation de production simulés (La plaine et Plateaux). ....	121
Figure 34. Cadre conceptuel de l'étude présentant la place prépondérante du concept de situation de production pour la détermination des stratégies de gestion, des systèmes de culture réalisés, et de leurs performances économiques, sociales et environnementales (extrait de Aouadi et al., 2015).....	136

## **Introduction générale**

### **1. Des changements nécessaires pour une agriculture plus durable**

Le développement de la mécanisation, l'évolution des techniques ainsi que l'utilisation massive des intrants de synthèse ont contribué à intensifier les modes de production en agriculture et à augmenter considérablement les rendements en France comme dans l'ensemble des régions agricoles des zones tempérées au cours de la deuxième moitié du XX<sup>ème</sup> siècle (FAO, 2013). Cette intensification n'est pas sans conséquences sur l'environnement. En effet, la pollution des ressources naturelles, principalement les eaux souterraines et de surface, par les résidus de pesticides et de nitrate, la dégradation des sols, la perte de la biodiversité ainsi que les suspicions d'impact sur la santé humaine (Baldi et al., 2013) sont des faits alarmants qui ont déclenché des débats sur la nécessité de réduire les intrants en agriculture et de réfléchir à des systèmes agricoles plus durables.

Le renforcement de la réglementation européenne sur l'homologation des produits phytosanitaires (directive 91/414/CEE) et plus récemment la demande de trouver des alternatives à l'utilisation des intrants chimiques en encourageant la mise en œuvre de la production intégrée (directive 2009/128/EC) ont abouti à l'élaboration de plans d'actions par les Etats Membres de l'Union Européenne, traduit en France par le plan Ecophyto 2018.

Dans sa première version, ce plan prévoyait la diminution de moitié de l'usage des pesticides entre 2008 et 2018. Un bilan d'étape a été réalisé en 2014, faisant l'objet d'un rapport parlementaire de synthèse (Potier, 2014) qui constate que l'utilisation de pesticides par l'agriculture française a plutôt eu tendance à augmenter au cours des premières années du plan ECOPHYTO, et que l'objectif sera donc difficile à atteindre d'ici 2018 avec les seuls moyens mis en place avec la première version du plan. Une nouvelle version du plan a été proposée : l'objectif de réduction de moitié de l'utilisation de pesticides par l'agriculture française est maintenu mais il est reporté à l'horizon 2025 avec une étape intermédiaire qui vise une baisse des pesticides de 20 à 25%.

Le rôle de la recherche dans la réalisation de ce plan est rappelé dans ce rapport parlementaire. En effet, la recherche agronomique est amenée à produire et diffuser des connaissances sur les nouvelles pratiques à adopter pour réduire le recours aux intrants de synthèse. La réflexion sur les systèmes de production innovants à concevoir doit impliquer les différents acteurs du monde agricole, et en particulier les agriculteurs, en vue de les accompagner progressivement dans leur démarche de réduction des intrants. Le réseau DEPHY compte parmi les dispositifs mis en œuvre pour la démonstration, l'expérimentation et la production de références. Il s'appuie sur un ensemble d'exploitations agricoles (FERME) qui sont engagées dans une démarche de réduction de la dépendance aux pesticides, complété par un réseau de sites expérimentaux (EXPE). Les premiers résultats du réseau DEPHY (Pillet et al., 2014) démontrent l'intérêt de ce dispositif, identifié comme une action fructueuse du plan ECOPHYTO : identification de systèmes agricoles économes en pesticides et performants sur le plan économique, identification de combinaisons de leviers de gestion des bioagresseurs associés à la faible dépendance aux pesticides, mise en évidence de trajectoires d'évolution des pratiques conduisant à une moindre utilisation des pesticides. Alors que

l'indicateur d'usage de pesticide de l'agriculture française a augmenté de 15% environ entre 2008 et 2013, l'utilisation de pesticides a diminué de 13% dans les fermes du réseau DEPHY de la filière 'grandes cultures et polyculture-élevage' entre la constitution du réseau et 2013.

## 2. Différentes stratégies pour améliorer la durabilité des systèmes agricoles

La communauté des agronomes des systèmes agricoles économes en pesticides, largement structurée autour du Réseau Mixte Technologique 'Systèmes de Culture Innovants' et du réseau DEPHY, fait aujourd'hui en France classiquement référence à la grille ESR (efficacité, substitution, reconception) proposée par Hill et MacRae (1995) pour classer les stratégies de transition vers des pratiques agricoles plus durables. Le premier type de stratégie consiste à améliorer l'efficacité ('E') des traitements phytosanitaires, par la mise en œuvre de méthodes permettant de mieux raisonner les traitements phytosanitaires sans remettre en cause le système de production (par exemple : épidémiologie-surveillance, outil d'aide à la décision, pulvérisation de précision et amélioration des conditions des pulvérisations). Ces méthodes d'amélioration de l'efficacité permettent de réduire le niveau d'usage de pesticides par la diminution de la fréquence des applications ou par la réduction des doses appliquées, mais aussi éventuellement de réduire les impacts environnementaux des traitements par le choix de matières actives dont l'impact environnemental est moindre ou par le choix de périodes d'application tenant compte des risques environnementaux.

Le deuxième type de stratégie consiste à substituer ('S') les pesticides par des produits ou moyens de lutte alternatifs (biopesticides, désherbage mécanique, lutte biologique). Ces solutions alternatives ont une efficacité variable qui peut dépendre de plusieurs facteurs (conditions d'application, niveau de pression biotique) et sont généralement moins efficaces que les traitements chimiques (Westerman et al., 2005 ; Munier-Jolain et al., 2008).

Le troisième niveau de stratégie de transition est la reconception ('R') des systèmes agricoles. Il s'agit de concevoir de nouveaux systèmes de culture moins vulnérables aux bioagresseurs grâce à une nouvelle combinaison cohérente de plusieurs moyens de gestion de ces bioagresseurs, permettant de réduire le recours aux pesticides de synthèse (Ricci et al., 2011). Les moyens de contrôle alternatifs mobilisés dans ces stratégies de gestion sont fréquemment classés en quatre catégories (Attoumani-Ronceux et al., 2011) :

- La prévention par l'action sur le stock initial de bioagresseurs (stock semencier du sol pour les adventices, inoculum de champignons pathogènes...), par exemple par la diversification des successions culturales, la gestion des repousses hôtes de pathogènes, le labour pour l'enfouissement des semences adventices, les faux-semis pour réduire la densité de semences adventices en surface, la gestion des résidus de culture, le balayage des feuilles en arboriculture...
- L'évitement/esquive des contaminations ou infestations, permettant d'éviter la coïncidence entre la phase de contamination du bioagresseur et la période de sensibilité de la culture, par exemple par le décalage de date de semis.

- L'atténuation en culture, avec l'objectif de minimiser les dégâts des bioagresseurs présents sur les cultures, par exemple par l'utilisation de variétés résistantes ou tolérantes, les mélanges de variétés ou d'espèces, la gestion de la fertilisation.
- Les solutions de rattrapage ou curatives alternatives à la lutte chimique, comme le désherbage mécanique ou la lutte biologique.

Ces combinaisons cohérentes de leviers de gestion des bioagresseurs permettent de limiter la dépendance aux pesticides. Elles relèvent de stratégies de Protection Intégrée des Cultures contre les bioagresseurs (cf. présentation plus détaillée de ce concept dans le chapitre I). En raison de l'efficacité modérée de la plupart des moyens de gestion alternatifs aux pesticides lorsqu'ils sont considérés individuellement, il y a généralement consensus dans la communauté des agronomes pour admettre que les systèmes agricoles issus de reconception systémique sont les mieux à même de concilier les différents aspects de la durabilité, et notamment de concilier une faible dépendance aux pesticides avec une bonne performance économique. Par exemple, les stratégies de réduction de doses par rapport aux doses fréquemment préconisées (stratégies 'E') sont fréquemment citées comme techniquement peu durables du fait de la sélection accélérée de populations résistantes aux pesticides (cf. par exemple pour les adventices, Yu et al., 2013). Le désherbage mécanique est une solution typique de substitution 'S' du désherbage chimique, mais son efficacité est généralement considérée comme très aléatoire en fonction du type d'outil, du stade de développement des adventices, et des conditions climatiques (Kurjstens et al., 2004). En conséquence, la simple substitution du chimique par le mécanique sans autre adaptation des pratiques conduirait le plus souvent à une perte de contrôle des infestations à long terme.

La conception de nouveaux systèmes de protection des plantes par combinaison logique et cohérente de techniques culturales contribuant à la gestion des bioagresseurs est donc aujourd'hui un enjeu majeur pour répondre aux objectifs du plan ECOPHYTO et plus largement aux besoins de l'agriculture moderne. La question de la diversification des successions culturales est centrale pour la conception/reconception de pratiques agricoles pour au-moins deux raisons : d'une part la tendance lourde de simplification des rotations et des assolements au cours des décennies récentes (Mignolet, 2013) est considérée comme un facteur majeur expliquant la très forte dépendance actuelle des systèmes agricoles aux pesticides. Les rotations courtes et peu différenciées favorisent la sélection d'espèces adventices adaptées au cycle cultural des cultures dominantes. Ces espèces trouvent chaque année des conditions favorables pour leur croissance et leur multiplication par production de graines, et maintiennent dans l'environnement l'inoculum des principales maladies fongiques affectant les quelques espèces cultivées localement. D'autre part, les quelques espèces retenues dans les rotations très simplifiées sont généralement celles qui sont très adaptées au milieu considéré, qui sont techniquement bien maîtrisées, et qui sont donc localement souvent à la fois les plus productives ou considérées par les agriculteurs comme les mieux à même d'assurer leur revenu (Maxime et al., 1995). Changer les rotations par la ré-introduction de cultures de diversification est donc fréquemment perçu comme peu pertinent économiquement par une partie de la profession agricole. Une tâche des agronomes impliqués dans la reconception de systèmes agricoles suivant les principes de la protection intégrée est

donc de vérifier cet antagonisme apparent entre la diversification nécessaire à la réduction des besoins en pesticides et la performance économique, et d'évaluer les conditions dans lesquelles cet antagonisme existe effectivement.

### **3. Vers une évaluation multicritère des systèmes agricoles**

Le travail de conception/reconception de systèmes agricoles pour réduire leurs dépendance aux pesticides et améliorer leur durabilité nécessite en effet de considérer les conséquences des changements de pratiques sur un grand nombre de critères d'évaluation. L'adoption de systèmes relevant de la protection intégrée des cultures par la profession agricole n'est envisageable que si leur aptitude à dégager un revenu agricole est au-moins égale à celle des systèmes actuels, à moins que les dispositions politiques et réglementaires ne soient adaptées pour que ces systèmes deviennent économiquement intéressants pour la profession. Le concept de durabilité a été proposé dans le rapport Bruntland en 1987 (WCED, 1987). Il inclut des préoccupations économiques, sociales et environnementales. L'ambition affichée de faire évoluer les pratiques agricoles vers des systèmes contribuant au développement durable implique une série de conditions. La première est l'évaluation des conséquences potentielles de ces évolutions sur la performance économique des exploitations agricoles et des filières. La deuxième concerne l'évaluation des impacts environnementaux en termes de qualité des eaux et de l'air, d'efficacité énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre, d'impact sur la biodiversité. La troisième s'intéresse en termes de complexité à la faisabilité pratique par les exploitations, à la contribution à l'emploi, et à la satisfaction des besoins des populations, notamment des besoins alimentaires. Ces besoins sont en lien avec la productivité quantitative et qualitative qui reste un des enjeux principaux de l'agriculture face à l'augmentation de la population mondiale (Lichtfouse et al., 2009). L'adoption des principes de protection intégrée est susceptible d'impacter de nombreux aspects de la durabilité au-delà de la seule santé des plantes : ils peuvent réduire la productivité par hectare (Pardo et al., 2010), augmenter la complexité et le temps de travail nécessaire (Pardo et al., 2010), éventuellement augmenter la consommation en carburant pour le travail du sol et le désherbage mécanique... L'étude des transitions vers la protection intégrée nécessite donc d'évaluer les conséquences potentielles sur toutes ces composantes de la durabilité.

Au cours des dernières décennies, des travaux portant sur l'évaluation de systèmes agricoles se sont développés. La gamme des critères considérés s'est enrichie pour couvrir de nombreux aspects de la durabilité, et des méthodes spécifiques pour l'évaluation d'indicateurs des performances correspondantes ont été proposées (Bockstaller et al. 2009; Binder et al. 2010). De nombreuses méthodes d'évaluation multicritères de systèmes de culture rassemblant ces calculs d'indicateurs sont disponibles, comportant ou non des procédures d'agrégation des indicateurs en critère d'évaluation de synthèse renseignant sur la durabilité globale estimée des systèmes évalués (par exemple : INDIGO, Bockstaller et Girardin, 2006; MASC, Craheix et al., 2012 ...).

#### **4. Des pratiques agricoles adaptées aux contextes de production**

Les systèmes agricoles sont divers, voire contrastés, en lien avec la diversité des contextes de production. Les pratiques actuelles résultent d'adaptations historiques qui ont pris des voies différentes en fonction des régions, des climats, des sols, ce qui se traduit aujourd'hui par des régions françaises dominées par les céréales et le colza, d'autres par les betteraves et les pommes de terre, d'autres par le maïs, d'autres enfin plus diversifiées en présence d'élevage valorisant des cultures fourragères. Les déterminants associés aux contextes de production sont donc plutôt subis par les agriculteurs, non ou difficilement modifiables par leurs décisions. De même que la diversité des contextes a généré une diversité de pratiques actuelles, le plus souvent avec un objectif de maximisation des performances économiques dans le cadre de contraintes de chaque exploitation (Carpentier and Letort, 2014). Il est probable que les systèmes qui pourront au mieux concilier les différents aspects de la durabilité seront différents en fonction de ces contextes. Il est aussi probable que l'adoption des principes de la protection intégrée, qui doivent permettre de limiter la dépendance aux pesticides tout en maintenant des bonnes performances économiques, génère des systèmes de culture très différents en fonction des régions, des sols, des climats, des pressions en bioagresseurs. Les conséquences sur les performances économiques, sociales et environnementales de cette diversité de systèmes agricoles dans cette diversité de contextes peuvent donc potentiellement s'avérer très contrastées.

#### **5. Objectifs de la thèse et hypothèses de travail**

L'objectif général est d'évaluer a priori (i) la diversité des systèmes de culture d'un territoire donné en fonction de la diversité des situations de production de ce territoire, sous hypothèse un peu théorique d'adoption des principes de la protection intégrée sur l'ensemble de ce territoire, et (ii) les conséquences des changements de pratiques agricoles correspondantes pour les principaux critères de la durabilité. Le territoire retenu pour le travail est celui des zones de grandes cultures de la région Bourgogne, qui présente un bon compromis de diversité des situations de production sans nécessiter la multiplication des cas d'études. De plus on dispose en Bourgogne d'un accès facilité aux ressources sur la protection intégrée grâce aux travaux de l'INRA-Dijon et des chambres d'agriculture de la région sur le sujet. Le préalable à l'étude de scénarios prospectifs d'adoption de la protection intégrée consiste à caractériser la diversité des situations de production du territoire d'étude en lien avec la diversité des systèmes de culture. L'ambition est de comparer le paysage agricole bourguignon avec le paysage agricole qu'il aurait sous l'hypothèse de la généralisation de la protection intégrée.

Les trois principales hypothèses de travail qui ont été testées dans le cadre de ce travail sont les suivantes :

- Hypothèse 1 : les systèmes de culture actuels sont largement déterminés par les caractéristiques des situations de production. Cette hypothèse est généralement acceptée par la communauté des agronomes, mais elle a rarement été formellement validée sur la base de démarches scientifiques rigoureuses ;

- Hypothèse 2 : les principes de la protection intégrée (qui seront détaillés dans le premier chapitre de ce document) permettent de concilier la baisse de la dépendance aux pesticides avec la performance économique, et leur adoption permet d'améliorer la durabilité de l'agriculture, au moins dans certaines situations de production ;
- Hypothèse 3 : les mêmes principes de protection intégrée peuvent générer des systèmes de culture très différents dans des situations de production différents, et donc des performances contrastées sur les différents axes de la durabilité.

Les travaux réalisés dans le cadre de la thèse comportent une dimension méthodologique. Ils valent autant par les résultats qui ont été obtenus que par les méthodes qui sont proposées, que ce soit pour l'étude des relations entre les systèmes de culture actuels et les caractéristiques des situations de production, ou pour l'étude de scénarios prospectifs de changements de pratiques tenant compte de la diversité des situations de production. Pour ces deux questions, différentes méthodes ont été envisagées ou testées au cours de la thèse, ce qui fournit des éléments de discussions sur leurs avantages et inconvénients, et sur la justification des choix qui ont été faits.

## **6. Organisation du document**

Ce document est structuré en quatre chapitres. Le premier chapitre est dédié à la présentation des concepts utilisés, au contexte de l'étude et aux connaissances disponibles dans le domaine d'étude au démarrage des travaux. Nous mettrons l'accent sur la protection intégrée, ses principes, les processus connus et valorisés par ces principes pour maîtriser les bioagresseurs, réduire les intrants et augmenter la durabilité des systèmes agricoles. Les méthodes de conception et d'évaluation des systèmes de production agricoles sont également présentées. Ce premier chapitre se termine par la présentation des objectifs spécifiques des différentes parties de la thèse.

Le deuxième chapitre traite des déterminants des systèmes de culture actuels en Bourgogne. Nous proposons une méthode pour caractériser la diversité des systèmes de culture de Bourgogne sur la base de données d'enquêtes sur les pratiques culturales. Nous analysons les relations entre les systèmes de culture et les situations de production correspondantes, pour évaluer dans quelle mesure les situations de production déterminent les pratiques. Ce chapitre fournit donc des éléments de validation de la première hypothèse de la thèse. Il est construit sur la base d'un article publié dans *European Journal of Agronomy* (Aouadi et al., 2015), introduit par un texte de présentation synthétique du travail, et suivi par une discussion complémentaire avec des résultats sur le sujet qui n'ont pas été intégrés dans l'article. Ce travail permet de définir les situations de production 'type' de Bourgogne utilisées pour la réalisation de scénarios prospectifs de changement de pratique.

Le troisième chapitre est consacré à la conception et l'évaluation des systèmes de culture construits sur la base des principes de la protection intégrée. Nous présenterons la méthode adoptée pour la réalisation de scénarios tenant compte des spécificités des situations de production, ainsi que les systèmes de culture obtenus et leurs performances, fournissant ainsi des éléments de caractérisation de l'agriculture bourguignonne sous hypothèse de l'adoption généralisée des principes de la protection intégrée.

Un dernier chapitre est réservé à la discussion générale de la démarche ainsi que de l'ensemble des résultats présentés. Les limites identifiées pour ce travail sont discutées. Les perspectives qui peuvent être envisagées sont également développées.



## Chapitre I. Problématique : concepts, contexte et état de l'art

### I.1. Définition des concepts : assolement, succession de culture, itinéraire technique, système de culture, situation de production

Cette partie vise à clarifier la terminologie et à définir les concepts agronomiques qui seront utilisés tout au long du document.

L'**assolement** (*cropping plan* en anglais) correspond à la proportion de chaque espèce cultivée dans l'espace considéré (pays, région, exploitation agricole). Certains auteurs considèrent également la dimension spatiale de l'assolement, ce qui revient à tenir compte de l'emplacement des parcelles sur lesquelles sont cultivées les différentes espèces. Ceci implique alors que i) deux répartitions spatiales différentes des mêmes proportions de cultures dans une exploitation agricole constituent deux assolements différents ; ii) l'assolement est également modifié si les limites des parcelles cultivées sont modifiées (Dury et al., 2011, Schaller, 2011).

La notion de **succession de cultures** est définie par l'ordre d'apparition des cultures sur une parcelle donnée et sur une durée fixe (Schaller, 2011). La **rotation de culture** est un concept proche, qui s'en différencie par une reproduction cyclique et régulière de la succession culturale ainsi qu'une durée fixe de chaque cycle (ex : rotation de 3 ans ou 4 ans) (Leteinturier et al., 2006 ; Viaux, 2013). Le concept de succession de cultures est plus flexible que celui de rotation, puisqu'il fait référence à des combinaisons de séquences dans lesquelles certaines cultures peuvent être substituables à d'autres (Schaller, 2011).

A chaque culture de la succession est associé **un itinéraire technique**. Selon Sebillotte (1978), c'est l'ensemble constitué par la combinaison logique et ordonnée de techniques culturales, qui permet de contrôler le milieu et d'en tirer une production. L'échelle temporelle de l'itinéraire technique est celui du cycle cultural, qui, par convention, démarre à la récolte de la culture précédente (exclue) et se termine à la récolte de la culture considérée (inclue), en intégrant les interventions de travail du sol préalable au semis de la culture, voire le cas échéant les interventions de semis, d'entretien et de destruction du couvert d'interculture. Cette convention de limite temporelle de l'itinéraire technique peut être bousculée en cas de techniques particulières impliquant des chevauchements de cycles culturels, avec semis sous couvert d'une culture avant la récolte de la culture précédente, par exemple, mais ce cas n'a jamais été envisagé ni observé dans le cadre de ce travail de thèse.

Succession de cultures et itinéraire technique sont les principales composantes d'un système de culture. Sebillotte (1990) définit le **système de culture** comme étant 'l'ensemble de modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique'. Le mot 'système' est utilisé parce que ces choix techniques dépendent les uns des autres, constituant ainsi une cohérence globale à l'ensemble des composantes de gestion constituant les pratiques culturales (Meynard et al., 2003). Par ailleurs, les composantes techniques du système de culture interagissent entre elles, de sorte que l'effet du système de culture sur une variable donnée peut être différent de la somme des effets de chacune des composantes.

La conception du système de culture est réfléchi à l'échelle de la parcelle mais aussi à l'échelle de l'exploitation. Les cultures sont allouées aux différentes parcelles en prenant en compte les caractéristiques de ces dernières dans l'exploitation (environnement physique, localisation, ...). Les caractéristiques du système d'exploitation sont également prises en compte (matériel disponible, main d'œuvre,...). L'agriculteur doit concilier les objectifs et les contraintes économiques (produit et charges associés à chaque culture), les connaissances agronomiques (par exemple effet du précédent sur la culture suivante), et aussi les contraintes organisationnelles (liées par exemple aux pics de travail). Le choix des espèces à cultiver dépend également du contexte économique fluctuant (volatilité des prix de vente des cultures et des intrants) ainsi que de la variabilité climatiques pouvant affecter les rendements des cultures (Maxime et al., 1995; Rounsevell et al., 2003; Thenail and Baudry, 2004; Joannon et al., 2006; Mottet et al., 2006).

Aubertot and Robin (2013) ont introduit le concept de **situation de production**, défini comme l'ensemble constitué par d'une part les composantes physiques, chimiques et biologiques des parcelles concernées, d'autre part leur environnement paysager et socio-économique, ensemble qui détermine à la fois les choix techniques des agriculteurs et les performances des systèmes agricoles.

## I.2. Caractérisation des systèmes de culture à l'échelle régionale

Il existe plusieurs méthodes pour caractériser et décrire les systèmes de culture. Le choix de la méthode dépend du nombre de systèmes à décrire, de leur nature (systèmes observés dans des fermes ou systèmes expérimentaux, systèmes réels ou virtuels) et des objectifs de la caractérisation. Ces objectifs peuvent être la description pour la communication, pour faire un diagnostic, pour mettre en évidence des lois de fonctionnement du champ cultivé, pour simuler ou prévoir les effets sur telle ou telle variable, enfin pour concevoir des scénarios ou pour définir une distribution optimale de systèmes de culture (Leenhardt et al., 2010).

Des données d'enquêtes régionales sur des systèmes de culture existants (enquêtes « Pratiques culturelles », recensement agricoles, base de données Ter-Util-LUCAS), peuvent être exploitées le plus souvent dans le but d'effectuer un diagnostic : caractériser la diversité des systèmes de culture actuels (Guichard et al., 2013), comprendre la dynamique spatiale des pratiques culturelles et des successions de cultures (Mignolet et al., 2007), comprendre la dynamique de la mosaïque des cultures (Thenail et al., 2009). Ces données sont généralement traitées en utilisant des analyses statistiques telles que les analyses multivariées mais également d'autres approches telles que des modèles stochastiques de fouille des données (Xiao et al., 2014 ; Mignolet et al., 2007 ; Le Ber et al., 2006).

Le traitement de ces données dépend principalement de la nature des variables renseignées, du nombre et de la localisation de l'échantillon retenu ainsi que des informations manquantes pour certaines unités enquêtées. La difficulté pour l'élaboration de ces bases de données à large échelle (régionale ou nationale) est le nombre important d'unités à enquêter ainsi que le

nombre de variables à renseigner à la fois sur les successions culturales et sur les itinéraires techniques.

A l'échelle régionale ou nationale, les données recueillies intègrent soit des informations sur les successions culturales ou les assolements (par exemple, données issues des déclarations administratives des assolements annuels d'exploitations), soit des informations sur les itinéraires techniques à l'échelle d'une campagne (enquêtes « pratiques culturales » du SSP). Les jeux de données complets à l'échelle des systèmes de culture et à l'échelle régionale sont rares.

Il est possible d'avoir recours à des professionnels régionaux pour la caractérisation des systèmes de culture s'il n'existe pas de statistiques sur les pratiques culturales. Ces acteurs appartiennent à des organisations professionnelles agricoles telles que les chambres d'agriculture, les instituts techniques ou les coopératives agricoles. Ils sont de plus en plus spécialisés et jouent un rôle important pour assister les agriculteurs dans la gestion de leurs exploitations en fournissant les informations nécessaires. Ils ont par conséquent une vision globale des caractéristiques de l'activité agricole dans leurs régions, et sont capables de renseigner les pratiques agricoles les plus courantes en termes de choix des espèces cultivées et d'itinéraires techniques (Mignolet et al., 2004).

Le recours à ces acteurs régionaux permet d'acquérir des informations non seulement sur les pratiques passées et/ou recommandées mais aussi sur les pratiques innovantes intéressantes pour l'étude de scénarios de changement de pratiques. Toutefois, cette caractérisation des systèmes de culture peut devenir délicate si la région concernée est grande, diversifiée, et qu'il faut prendre en compte la variabilité spatiale. Le choix des acteurs est un facteur décisif dans la fiabilité des informations collectées. Les différences dans leur perception peuvent introduire des biais et la qualité des résultats diminue quand on explore les pratiques agricoles historiques dans le passé (Lançon et al., 2008, Mignolet et al., 2004).

### **I.3. Protection intégrée (PI) pour réduire le recours aux pesticides de synthèse**

#### **I.3.1. Définition de la protection/production intégrée et évolution du concept**

Lutte intégrée, protection intégrée, production intégrée : ces concepts en lien direct avec la protection des plantes cultivées contre les divers bioagresseurs ont évolué et se sont succédés. **La lutte intégrée** est définie selon les normes européennes par la directive communautaire 91/414/CEE comme « l'application rationnelle d'une combinaison de mesures biologiques, biotechnologiques, chimiques, physiques, culturales ou intéressant la sélection des végétaux, dans laquelle l'emploi de produits phytopharmaceutiques est limité au strict nécessaire pour maintenir la présence des organismes nuisibles en dessous de seuil à partir duquel apparaissent des dommages ou une perte économiquement inacceptables ».

Le concept de **protection intégrée** a été défini par l'OILB (Organisation Internationale de Lutte Biologique et Intégrée contre les animaux et les Plantes nuisibles) en 1973 (Ferron, 1999) comme étant « un système de lutte contre les organismes nuisibles qui utilise un ensemble de méthodes satisfaisant les exigences à la fois économiques, écologiques et

toxicologiques, en réservant la priorité à la mise en œuvre délibérée des éléments naturels de limitation et en respectant les seuils de tolérance ». Ce concept est très proche de celui de la lutte intégrée. Les deux termes sont parfois considérés comme synonymes. La lutte intégrée est généralement un terme utilisé pour désigner la gestion spécifique d'un ou quelques bioagresseurs majeurs d'une culture, alors que le concept de protection intégrée s'applique plutôt avec une vision plus générique concernant l'ensemble des organismes nuisibles d'une culture (Lucas, 2007).

La notion de production intégrée a été proposée plus tardivement par extension à la lutte intégrée, à travers plusieurs directives, élaborées pour la première fois par OILB et l'ISHS (Société Internationale pour la Science Horticole) en 1991 pour les fruits à pépin puis pour les autres types de cultures (Poitout, 1998). La production intégrée est alors définie comme « une production économique de produits de haute qualité, donnant la priorité à des méthodes écologiquement plus sûres, minimisant l'utilisation et les effets indésirables des produits agrochimiques et visant à l'amélioration de la sécurité environnementale et de la santé humaine » (Boller et al., 2004). Certains auteurs considèrent que le terme de 'production intégrée' s'applique aux systèmes de production qui, pour la protection des plantes, ont recours aux principes de la 'protection intégrée' (Chikowo et al., 2009). Pour ces auteurs, la différence entre production intégrée et protection intégrée serait du même ordre que la différence entre production agricole et protection des plantes, les concepts s'appliquant aux mêmes objets à un niveau d'échelle différent. Selon cette vision, un travail portant spécifiquement sur la protection intégrée s'intéresse à la santé des plantes, au niveau de maîtrise des bioagresseurs, aux dégâts et dommages engendrés, éventuellement aux coûts financiers et environnementaux de la stratégie de protection des plantes. Par opposition, un travail portant sur la production intégrée s'intéresse à un sujet plus large, le système de production, avec toutes ses composantes (sa rentabilité économique, ses impacts environnementaux et sociaux...).

D'autres auteurs retiennent une différence d'un autre ordre entre les deux concepts, considérant que certains systèmes de culture relèvent de la protection intégrée, d'autres de la production intégrée, en fonction des objectifs assignés (Ferron, 1999). Selon ces auteurs, les objectifs de la protection intégrée sont 'seulement' de maîtriser les bioagresseurs avec peu de pesticides, alors que les objectifs de la production intégrée sont plus larges et recouvrent finalement tous les aspects de la durabilité. En aucun cas les deux concepts ne se différencient par la nature des leviers mobilisés pour la gestion des bioagresseurs.

### **I.3.2. Approche systémique en production intégrée et échelles spatio-temporelles**

Les bioagresseurs à contrôler à l'échelle du système de culture sont très divers. On distingue classiquement les adventices, les maladies et les ravageurs, avec une grande diversité des caractéristiques biologiques au sein de chacune de ces familles. Aubertot et Robin (2013) proposent de classer les bioagresseurs au regard de la protection intégrée en fonction de leur niveau d'endocyclisme. Les organismes fortement endocycliques sont ceux dont le cycle biologique se déroule essentiellement à l'intérieur de la parcelle agricole, et dont l'expression dépend beaucoup de l'inoculum interne de la parcelle concernée. Les organismes

fortement endocycliques sont donc très dépendants du système de culture mis en œuvre sur cette parcelle. Le niveau d'endocyclisme dépend essentiellement (i) de la persistance de l'inoculum primaire dans la parcelle et (ii) du pouvoir de dispersion au-delà des limites de la parcelle. La très grande majorité des espèces adventices et les maladies d'origine tellurique telles que le piétin-verse du blé ou le rhizoctone de la betterave sont des exemples typiques de bioagresseurs fortement endocycliques, alors que les champignons pathogène à dispersion aérienne comme les rouilles du blé sont typiquement très peu endocycliques.

Le niveau d'endocyclisme des principaux bioagresseurs redoutés dans la région considérée détermine l'échelle spatio-temporelle à laquelle doivent s'organiser les stratégies de protection intégrée (Meynard et al., 2003) :

- Les organismes fortement endocycliques nécessitent des stratégies **à l'échelle de la parcelle sur des pas de temps longs** nécessaires pour gérer les effets cumulatifs des techniques culturales sur les niveaux d'inoculum de la parcelle ;
- Les organismes faiblement endocycliques nécessitent plutôt des stratégies de gestion sur des pas de temps plus court, typiquement **à l'échelle de l'itinéraire technique** de chaque culture. Mais elles peuvent être raisonnées à des échelles spatiales plus larges que la parcelle, i.e. **l'échelle de l'exploitation ou de la région**, en fonction du pouvoir de dispersion à longue distance. La mise en œuvre de stratégies de gestion à l'échelle régionale nécessite une organisation entre les producteurs qui est complexe à mettre en place. Il y a à notre connaissance peu d'exemples opérationnels en grandes cultures. On peut néanmoins imaginer des coordinations d'agriculteurs pour diversifier les variétés de blé à l'échelle d'une région, afin de ralentir la sélection de souches virulentes de champignons pathogènes à contamination aérienne, cf. par exemple Gigot et al, 2013. Il existe des exemples de coordination dans le cas de cultures pérennes pour mettre en place de stratégies de confusion sexuelle à l'échelle d'un territoire couvrant plusieurs exploitations (Hoffmannand Thiery, 2010).

Dans la majorité des cas, en grandes cultures, au regard de la diversité des bioagresseurs plus ou moins endocycliques, la protection intégrée se raisonne plutôt comme une stratégie pluri-annuelle (Attoumani-Ronceux et al., 2011). Cependant, les échelles spatiales et temporelles ne sont pas indépendantes. Une succession culturale diversifiée génère en général un assolement local également diversifié ce qui peut affecter les mécanismes de dispersion de certains bioagresseurs faiblement endocycliques.

Le concept de système de culture est donc central dans la problématique de la protection/production intégrée. Comme évoqué dans l'introduction, le raisonnement de la protection intégrée nécessite une approche systémique considérant le système de culture dans sa globalité et sa complexité :

- En l'absence de technique alternative complètement efficace, la protection intégrée revient le plus souvent à combiner les leviers de gestion, et donc à repenser la globalité du système avec un changement fondamentale au niveau des itinéraires techniques et des successions des cultures (Ricci et al., 2011).

- Toute modification technique apparemment mineure peut avoir des conséquences sur d'autres composantes du système de culture afin d'en préserver sa cohérence d'ensemble. Par exemple, un retard de date de semis du blé pour esquiver la période de levée des adventices d'automne ou pour limiter le risque de développement de maladies aériennes nécessite (i) de revisiter le choix variétal pour retenir une variété adaptée aux semis tardifs (en plus d'être peu sensible aux maladies), (ii) de revoir l'itinéraire de désherbage, et (iii) de modifier les modalités de fertilisation en fonction de l'objectif de rendement qui peut être affecté par la date de semis.
- Le raisonnement stratégique de la protection intégrée doit être en mesure de tenir compte des interactions entre techniques culturales mises en œuvre. Les travaux de simulation de la démographie de la flore adventice ont montré que pour une espèce adventice donnée, l'effet de la fréquence du labour sur la démographie varie beaucoup en fonction de la succession culturale, l'optimum de fréquence variant avec le niveau de diversification (Munier-Jolain, 2011).

### **I.3.3. Leviers de gestion des bioagresseurs alternatifs aux pesticides**

Les connaissances mobilisées dans le cadre de ce travail reposent très largement sur celle de l'équipe de l'UMR Agroécologie de l'INRA de Dijon, qui est spécialisée dans la gestion de la flore adventice en grandes cultures. En grandes cultures, la gestion de la flore adventice est très structurante pour la définition des stratégies de protection intégrée, car (i) les herbicides sont les produits phytosanitaires les plus utilisés en nombre de doses (Ministère en charge de l'Agriculture, 2015), (ii) les leviers d'action sont nombreux mais leurs effets sont généralement très partiels, (iii) ils doivent être considérés avec une approche très systémique car les adventices sont des organismes très endocycliques. Nous présentons dans un premier temps les leviers de gestion de la flore adventice, ensuite les leviers de gestion des autres types de bioagresseurs, puis les impacts potentiels des stratégies de protection intégrée sur différents aspects de la durabilité.

#### **I.3.3.1. Leviers de gestion de la flore adventice**

Les plantes adventices (communément désignées par le terme 'mauvaises herbes') affectent la productivité des cultures principalement par des phénomènes de compétition pour la lumière, l'eau et les éléments minéraux. Elles peuvent dans certains cas gêner la récolte ou dégrader la qualité du produit. Dans les systèmes agricoles actuels, le moyen de lutte prépondérant est l'application d'herbicides. Il existe un grand nombre de substances actives herbicides, avec des modes d'action variés, combinées éventuellement entre elles dans un grand nombre de produits commerciaux herbicides. Leur efficacité est en général bonne sur les espèces adventices qui entrent dans leur 'spectre d'action', ce qui varie beaucoup d'un produit à l'autre. L'utilisation intensive et répétée des herbicides a engendré l'apparition de biotypes résistants.

La réduction de l'utilisation des herbicides est un enjeu majeur en grandes cultures car ils constituent la première source de contamination des eaux de surfaces et des eaux profondes, en Bourgogne comme dans toutes les régions de grandes cultures intensives.

Les principaux leviers de protection intégrée contre la flore adventices sont :

- **La diversification des successions culturales**, considérée comme un des fondamentaux de la production intégrée tant sur le plan agronomique que sur le plan économique (Leteinturier et al., 2006 ; Munier-Jolain et al., 2008). La majorité des espèces adventices annuelles présente une période de levée préférentielle marquée. Leur cycle biologique est en correspondance avec celui des cultures qu'elles infestent. Cette caractéristique biologique est la raison principale qui explique les différences de flore entre un colza, une céréale d'hiver, une culture de printemps ou une culture d'été (Meiss et al., 2010a ; Perronne et al., 2015). La diversification des cycles culturaux permet de réduire la fréquence des événements de multiplication de production de semences (Boller et al., 1997 ; Gerowitt, 2003, Munier-Jolain et al., 2008). Les successions courtes favorisent les infestations par les espèces les plus adaptées (par exemple, développement du géranium dans les rotations colza-blé, augmentation de la morelle dans les monocultures de maïs, cf. Viaux, 2013). Plus que le nombre de cultures de la succession, c'est plutôt la diversité des dates de semis qui est importante. On distingue quatre grandes périodes de semis : les semis d'automne précoce (essentiellement colza), les semis d'automne tardif (céréales d'hiver, pois, féverole), les semis de printemps précoce (orge de printemps, pois de printemps, lupin...) et les semis de printemps tardif, ou semis de cultures d'été (maïs, tournesol, soja...). Par ailleurs, en règle générale, la persistance des semences dans le sol est plutôt plus grande pour les adventices printanières et estivales que pour les hivernales. La succession devrait idéalement comporter plus de cultures semées à l'automne que de cultures semées au printemps (Munier-Jolain et al., 2005).
- Le **travail du sol**, avec ses trois composantes : labour, faux-semis et désherbage mécanique. Le **labour** consiste à travailler le sol avec une action de retournement permettant d'enfouir les graines d'adventices à une profondeur qui ne permet pas leur germination ou leur levée. Dans les stratégies de protection intégrée, il n'est pas forcément systématique. Il doit être raisonné à l'échelle de la succession de cultures (typiquement une fois entre deux cultures infestées par la même flore ; cf. Munier-Jolain 2011). Le labour dépend des conditions du milieu, par exemple les sols caillouteux sont défavorables au labour qui remonte des pierres des horizons profonds. Le **faux semis** consiste à travailler le sol de façon superficielle et répétitive pour détruire les plantes adventices levées et faire germer les semences pendant la période d'interculture, réduisant d'autant le stock semencier superficiel au semis de la culture suivante, et donc le potentiel d'infestation dans cette culture (Rasmussen, 2004). Il est généralement associé à un retard de plusieurs semaines de la date de semis qui permet également d'esquiver les périodes de levée préférentielle des adventices. Le **désherbage mécanique** est une forme particulière de travail du sol qui a pour spécificité d'être mis en œuvre après le semis de la culture. Différents outils sont disponibles, travaillant l'ensemble de la surface du champ (herse-étrille, houe-rotative) ou seulement une partie de la surface (bineuse). Leur efficacité varie énormément en fonction des espèces adventices, de leur stade, et des conditions météorologiques. Le binage a en général une bonne efficacité

entre les rangs sur la surface travaillée, mais une très faible efficacité sur le rang. Il peut être complémenté par un désherbage chimique localisé uniquement sur le rang ce qui réduit d'un facteur trois à quatre la quantité de produit appliqué par rapport à un traitement 'en plein'.

- Le choix de **variétés compétitives** (Lemerle et al., 2001) permet de favoriser l'interception des ressources (vigueur de la plantule, précocité de la montaison, hauteur, nombre de talles ou de ramifications, largeur et orientation des feuilles...). Le choix **d'espèces compétitives** (seigle ou triticale plus compétitif que le blé, par exemple), ou le **mélange d'espèces cultivées** sont des moyens de limiter la croissance des adventices, leur impact sur le rendement et leur multiplication par production de graines. L'insertion de **prairies temporaires pluriannuelles**, fauchées régulièrement, au sein de successions de culture annuelles est un moyen de limiter la production de semences des annuelles et la multiplication végétative de certaines vivaces, et de 'nettoyer' ainsi les parcelles infestées (Meiss et al., 2010b).
- La **densité élevée de semis** des cultures est un moyen à la fois de compenser d'éventuelles pertes de pieds dues au désherbage mécanique, et d'augmenter l'aptitude à la concurrence du couvert cultivé par rapport aux adventices.
- La majorité des espèces adventices très redoutées sont des plantes très nitrophiles, dont la croissance est très sensible à la disponibilité en azote dans le milieu. La **réduction de la fertilisation azotée** est un moyen de limiter la production semencière de ces espèces (Moreau et al., 2013). Cependant, cet effet dépend de la nitrophilie de la culture et de son aptitude à la concurrence pour la lumière. En colza par exemple, une culture à la fois très nitrophile et très compétitive, l'effet inverse a été observé avec des biomasses adventices réduites en cas de forte disponibilité en azote, les adventices sont alors éliminées par compétition avec le couvert cultivé (Valantin-Morison et al., 2003).
- Le semis de **couverts d'intercultures** est un moyen de concurrencer les adventices qui se développent pendant cette période, et ainsi limiter leur multiplication par production de semences. Certains couverts végétaux peuvent être choisis pour leurs effets allélopathiques attendus sur les adventices dans la culture suivante, même si cet effet reste aujourd'hui très mal maîtrisé au champ (Charles et al., 2013). Notons que ces couverts d'interculture présentent l'inconvénient de limiter la période d'intervention possible pour la réalisation de travaux du sol superficiel à effet de faux-semis.

L'ensemble des leviers recensés ici relèvent de stratégies de protection intégrée caractérisées par une intensité de travail du sol plutôt élevée (labour, même s'il n'est pas systématique, travail superficiel à effet de faux-semis, désherbage mécanique). A l'opposé, une stratégie relevant de l'agriculture de conservation, fondée sur l'absence de travail du sol, le semis direct des cultures et de couverts d'interculture systématiques, peut-être envisagée pour la protection intégrée. Ce type de stratégie repose sur (i) l'effet de l'absence de travail du

sol sur la réduction du taux de germination-levée des plantes adventices (Debaeke, 1988), (ii) la forte compétition pour les ressources subies par les adventices qui lèvent dans un couvert végétal développé, et (iii) la régulation biologique des infestations en lien avec la prédation des graines par des organismes granivores, facilitée par l'absence d'enfouissement, et par l'environnement du couvert végétal permanent favorable à la biodiversité et à la prédation (Meiss et al., 2010c). Mais les systèmes de semis direct sous couvert ont tendance à être plus consommateurs d'herbicides que les systèmes labourés (Chauvel et al., 2011), en particulier en raison de l'utilisation fréquente du glyphosate pour la destruction des couverts végétaux (et des adventices qui s'y trouvent). Les connaissances sur les combinaisons de techniques qui permettraient de limiter la dépendance aux herbicides dans un cadre d'agriculture de conservation sont aujourd'hui très peu accessibles. Il est donc difficile d'envisager à l'heure actuelle de préconiser ce type d'approche pour concevoir des systèmes relevant de la protection intégrée.

### **I.3.3.2. Leviers de gestion des maladies et ravageurs**

Certaines maladies des cultures ont un caractère endocyclique en lien avec la persistance d'un inoculum dans le sol sur les résidus des cultures précédentes. Ces maladies sont affectées comme les adventices annuelles par la diversification de la succession culturale qui permet d'espacer le retour de cultures sensibles aux mêmes pathogènes. Elles peuvent être également affectées par l'enfouissement des résidus et des inoculums par le labour (Colbach et al., 1997), avec des interactions avec la succession culturale du même ordre que pour les adventices. Pour les maladies faiblement endocycliques, la sensibilité variétale est un levier majeur de réduction du risque, la gamme de choix variétal variant avec les espèces cultivées. Les mélanges de variétés (Meynard et al., 2003 ; Gigot et al., 2013) et les mélanges d'espèces (Valantin-Morison, 2012) sont également des moyens efficaces de réduction du risque. Pour un grand nombre de couples culture/maladie, la forte disponibilité en azote en début de cycle et la forte densité de semis sont des facteurs augmentant la pression des maladies. Les semis tardifs de céréales d'hiver (blé, orge) permettent de réduire les risques.

Les facteurs expliquant la variabilité de la pression et des dégâts des limaces sont assez mal connus. Leur cycle biologique est affecté par le travail du sol (labour, travaux superficiels, désherbage mécanique). Mais le travail du sol pourrait également affecter certains organismes prédateurs de limaces. Il n'est pas exclu que les stratégies sans travail du sol relevant de l'agriculture de conservation puissent permettre à terme de favoriser une régulation biologique efficace des limaces en favorisant la présence et l'activité des auxiliaires.

L'adaptation de la date de semis de la culture permet de gérer le risque dû à certains insectes ravageurs, soit par l'esquive des périodes de forte pression, soit par le décalage des stades de forte sensibilité en dehors de ces périodes. Par exemple, le semis tardif du blé permet de réduire fortement les risques des pucerons d'automne. Il peut exister des différences variétales de sensibilité à certains ravageurs (pucerons, cécidomyies...), même si ces différences sont moins importantes que pour les maladies.

Les stratégies dites de ‘push-pull’, visant à repousser les bioagresseurs à distance des cultures et à les piéger ou les attirer en dehors du champ cultivé, sont encore peu développées dans le domaine des grandes cultures et les références scientifiquement validées sont rares. La présence de féveroles en mélange avec le colza serait de nature à perturber les insectes ravageurs à l’automne, alors que l’introduction de plantes ‘pièges’, sous la forme de quelques pourcents de colza à floraison très précoce (ou de navette, à floraison également plus précoce que le colza), soit en mélange soit en bordure, permet de limiter les effets des méligèthes ravageurs des boutons floraux du colza au printemps.

Les ravageurs sont fréquemment peu endocycliques. Leur niveau de pression est largement dépendant de facteurs qui s’appliquent au niveau du paysage ou de la région, qui sont souvent encore peu connus. La diversité des cultures à l’échelle régionale, en affectant la proportion de chaque culture dans la région, peut déterminer le niveau de pression de certains ravageurs. La structure du paysage, la présence d’éléments paysagers favorables aux auxiliaires (bandes enherbées, bandes fleuries, lisières de bois, haies...) sont des éléments déterminant les équilibres écologiques et donc les niveaux de pressions des ravageurs.

#### **I.4. Impacts potentiels des stratégies de protection intégrée sur les différents volets de la durabilité**

Les stratégies de protection intégrée sont construites sur des combinaisons de leviers de gestion des bioagresseurs qui permettent de réduire l’utilisation des pesticides. Cependant ces leviers peuvent avoir des impacts sur les performances économiques et environnementales des systèmes de culture, et sur des composantes sociales de la durabilité. Nous détaillons ici les conséquences potentielles d’une démarche de protection intégrée, en commençant par la question de la diversification des cultures, au cœur de la problématique de la durabilité.

##### **I.4.1. La diversification des cultures : intérêts et difficultés**

La diversification des cultures est un levier majeur de la protection intégrée, par ces effets sur les adventices et maladies et ravageurs fortement endocycliques (cf. ci-dessus). Elle a d’autres effets favorables sur les plans agronomiques et économiques. Elle permet de bénéficier de l’effet ‘précédent’ favorable de certaines cultures introduites, en particulier des légumineuses, qui permettent d’économiser des engrais azotés (l’année de la culture de légumineuse et de la culture suivante) et tendent à augmenter le rendement de la culture suivante (Viaux, 2013). L’économie des engrais présente à la fois un intérêt économique par la baisse des charges correspondantes, et un intérêt environnemental en contribuant à l’amélioration de l’efficacité énergétique et la baisse des émissions de gaz à effet de serre liés à la synthèse des engrais (Deytieux et al., 2012). Sur le long terme, les successions longues notamment avec légumineuses contribuent au maintien de la qualité des sols en terme de teneur en matière organique (Viaux, 2013). L’alternance des cultures ayant des systèmes racinaires différents contribue à améliorer la structure du sol (Hamza and Anderson, 2005).

Cependant, les rotations courtes actuellement pratiquées sont généralement construites sur la base des quelques cultures les plus productives ou les plus rentables dans la région concernées. La diversification peut nécessiter d’introduire des nouvelles cultures a priori

moins rentables, au moins à court terme. La diversification des cycles biologiques implique d'introduire des cultures dont le cycle est plus court, et qui sont potentiellement moins productives. La maîtrise technique et l'offre variétale des cultures de diversification peuvent être moins bonnes que pour les cultures dominantes dans la région. La diversification génère en tendance, sur le court terme et dans certains contextes économiques, une rentabilité économique moins satisfaisante que celle des systèmes de culture simplifiés actuels (Munier-Jolain et Dongmo, 2010). En revanche, diversifier les assolements permet d'être plus robuste par rapport à la volatilité des prix des matières premières et aux accidents climatiques qui peuvent compromettre les rendements (Lechenet et al., 2014).

Malgré les avantages agronomiques que présente la diversification des espèces cultivées, il existe toujours une forte tendance à la spécialisation des exploitations au niveau des régions et à la réduction de la diversité des espèces cultivées. En France, les céréales à paille (blé tendre, blé dur, orge...) et le maïs occupent environ 60 % des terres arables, et 20 % sont affectées aux prairies temporaires. Mais ces chiffres masquent la spécialisation régionale, intra-régionale, et parfois même intra-exploitation. Dans les Landes, la monoculture de maïs occupe plus de la moitié des surfaces et un quart dans le Haut-Rhin (source : Agreste). La majeure partie de la région Bourgogne est dominée par les cultures d'hiver, la rotation la plus fréquente étant Colza-Blé-Orge d'hiver, avec une spécialisation pour la production de blé tendre de qualité.

Meynard et al. (2013) ont conduit une étude faisant la synthèse des connaissances sur les freins à la diversification des cultures. Ces freins sont identifiés au niveau de la parcelle et de l'exploitation mais aussi au niveau de l'organisation des filières. Le manque de connaissances de la profession agricole sur les intérêts agronomiques de la diversification des espèces cultivées a été mis en avant. La difficulté de maîtriser la conduite de certaines cultures de diversification, en particulier pour la lutte contre les bioagresseurs, est soulignée. D'autres raisons ont été avancées comme la nécessité dans certains cas de disposer de matériels agricoles spécifiques obligeant les agriculteurs à investir ou à s'organiser à l'échelle du bassin de production. Les choix de l'agriculteur sont également influencés par les contraintes du milieu (Aubertot et Robin, 2013). En effet, certains types de sols sont moins favorables à la mise en place de certaines espèces. Les cultures de printemps par exemple sont moins adaptées aux sols superficiels séchant, en particulier dans les régions aux printemps chauds et secs, et en l'absence de possibilité d'irrigation.

La diversification des successions est contraignante en augmentant la complexité des systèmes et le nombre d'interventions différentes sur un grand nombre de cultures. Elle est avantageuse en termes d'organisation du temps de travail, en permettant d'étaler la charge du travail des principaux chantiers (semis, récolte) sur des périodes plus diversifiées (Pardo et al., 2010).

L'autre aspect important à prendre en compte dans la diversification des cultures est l'organisation des filières ainsi que les marchés existants et leur dynamique. Les espèces cultivées peuvent avoir plusieurs débouchés (alimentation humaine, alimentation animale, production de semences, industrie biodiesel). Certains marchés sont plus prometteurs et plus concurrentiels que d'autres, favorisant ainsi l'adoption de certaines cultures au dépend

d'autres difficiles à valoriser. L'existence de filières pouvant valoriser les produits agricoles oriente fortement le choix des assolements dans une région donnée. Ainsi la disparition de la filière sucrière en Bourgogne a eu un impact sur les successions de cultures avec la disparition de la culture de la betterave et l'expansion du colza (source : DRAAF). La diversification des systèmes de culture est à considérer en lien avec l'évolution des filières agro-industrielles, car l'introduction de cultures de diversification induit une modification des volumes de production par filière.

Pour relancer la production de certaines espèces d'intérêt, des politiques sont mises en place par le gouvernement incitant ainsi les agriculteurs à intégrer ces cultures dans leurs assolements. Ainsi le plan 'protéine' lancé en 2010 visait le développement de la production de protéines végétales et la diminution de la dépendance de l'élevage à l'importation. Cette stratégie a permis l'augmentation des surfaces cultivées en pois protéagineux (250 000 ha en 2010 contre environ 100 000 ha en 2009).

L'organisation des filières est un facteur de succès de la diversification. En Bourgogne, la culture de la moutarde a été introduite comme source de diversification, passant de moins de 300 ha à la fin des années 90 à plus de 500 ha en 2010 (source : Agreste). Ce développement a été piloté par l'Association des Producteurs des Graines de Moutarde, qui a défini des quotas accessibles uniquement aux agriculteurs fondateurs de l'association, et des prix garantis indexés sur le prix du colza de l'année précédente.

#### **I.4.2. Conséquences potentielles des autres leviers de la protection intégrée**

En théorie, la maîtrise des bioagresseurs est efficace dans le cadre de la protection intégrée, notamment parce que les pesticides peuvent être utilisés en dernier recours lorsque l'efficacité des combinaisons des autres leviers est insuffisante. Les pertes de rendement imputables aux bioagresseurs sont donc a priori minimales et non différentes de celles qu'on peut rencontrer dans le cadre de stratégies de protection classique fondées sur l'utilisation massive des pesticides. En revanche, certains leviers de gestion des bioagresseurs peuvent affecter le rendement. Le choix de variétés peu sensibles aux maladies et aux ravageurs, et compétitives vis-à-vis des adventices peut se traduire par l'implantation de variétés au potentiel de rendement inférieur à celui des variétés dominantes dans la région. Le retard de date de semis des céréales, pour esquiver les adventices et réduire les risques de maladies est associé à une baisse du potentiel de rendement, d'autant plus que le niveau de fertilisation azoté est ajusté en conséquence.

Cependant, cette baisse de rendement (et de productivité globale du système de culture lié à la diversification, cf. ci-dessus) n'est pas nécessairement préjudiciable à la rentabilité économique du système de culture, vue du point de vue de l'agriculteur, si la baisse de produit brut est compensée par une baisse des charges. Cette compensation dépend évidemment du prix des intrants et des produits agricoles. Dans un contexte de prix moyen couvrant la période 2000-2010, et sur un échantillon d'une cinquantaine de systèmes de culture, Lechenet et al. (2014) ont montré que les systèmes relevant de la protection intégrée généraient une marge semi-nette en moyenne équivalente à celles des systèmes conventionnels de référence.

Selon cette étude, la consommation de fioul et le temps de travail par hectare ne sont pas nécessairement plus importants dans les systèmes de production intégrée. Le temps requis par les interventions de désherbage mécanique est compensé par la baisse du nombre d'interventions phytosanitaires. L'efficacité énergétique serait nettement améliorée, la baisse de productivité étant plus que compensée par la baisse du niveau de fertilisation azotée (un poste majeur de la consommation d'énergie en production végétale, cf. Deytieux et al., 2012).

En revanche, les systèmes de protection intégrée sont clairement plus complexes à gérer, non seulement en raison de la diversité des cultures (cf. ci-dessus), mais aussi en raison des interventions spécifiques comme celles du désherbage mécanique. Le désherbage mécanique nécessite un équipement spécifique qui alourdit les charges de mécanisation (Pardo et al., 2010). Il nécessite un apprentissage, une utilisation au bon moment dans les bonnes conditions avec le bon réglage. La culture d'espèces en mélange peut nécessiter une opération supplémentaire de tri post-récolte, lorsque la production est destinée à la vente et ne peut être valorisée localement par l'alimentation du bétail à la ferme. Enfin la protection intégrée peut nécessiter un temps d'observation plus important sur le terrain, par exemple pour l'observation des levées d'adventices pour piloter le désherbage mécanique. Cependant, cet aspect de la protection intégrée a été peu étudié formellement. Certains agriculteurs engagés dans ce type d'approche revendiquent au contraire un temps d'observation de l'état sanitaire des cultures moins important que dans des stratégies intensives, parce que les leviers de gestion des maladies mis en œuvre en amont (variétés peu sensibles par exemple) réduisent les risques et la vitesse de progression des maladies (Munier-Jolain et al., 2011).

## **I.5. Méthodes d'évaluation de la durabilité systèmes de culture**

Avec le développement du concept de développement durable, défini comme « un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs » (rapport 'Brundtland', 1987), la thématique de l'évaluation de la durabilité des systèmes agricoles est prise en charge par les agronomes. Cette thématique se développe à la fois sur les questions de méthode d'évaluation des impacts et des performances des systèmes agricoles, et sur des questions de méthodes pour valoriser la diversité des informations disponibles sur les différents aspects de la durabilité, dans le cadre d'une évaluation multicritères. Un système agricole durable a été défini comme un système agricole dont la gestion et l'utilisation de l'agroécosystème permet de maintenir sa diversité biologique, sa productivité, sa capacité de régénération, sa vitalité et sa capacité de fonctionnement. Le maintien de ces propriétés doit permettre, aujourd'hui et dans le futur, de remplir des fonctions écologiques, économiques et sociales significatives à un niveau local, national et global, et ne pas nuire aux autres écosystèmes (Lewandowski et al., 1999).

### **I.5.1. Echelle spatio-temporelles de l'évaluation**

Il existe plusieurs échelles spatiales d'évaluation des systèmes agricoles. La parcelle est la plus petite échelle considérée comme uniforme à l'égard des pratiques agricoles excepté pour les bordures de champs (Van Cauwenbergh et al., 2007). Cette échelle permet d'évaluer des performances agronomiques et certaines performances environnementales. Elle est parfois

jugée moins adaptée pour évaluer les performances économiques, qui prennent leur sens à l'échelle de l'exploitation, du bassin de production ou de la filière (Blazy et al., 2010). L'exploitation est une unité de gestion avec un certain niveau de capital incluant le capital social, naturel et artificiel (parcelle, machines agricoles, bâtiments, bétail), ensemble d'information qui permettent d'affiner l'appréciation des performances économiques. L'échelle spatiale plus large du territoire est parfois à prendre en compte pour l'évaluation de certains aspects. Elle est tributaire de la question à analyser : bassins versants pour des problèmes liés aux ressources en eau ; paysage ou écosystème pour des questions liées à la biodiversité, le sol, l'air ou l'énergie ou encore la région pour d'autres aspects environnementales, sociales ou économiques (par exemple la filière) (Van Cauwenbergh et al., 2007).

Les données de caractérisation du système de culture à l'échelle parcellaire permettent de faire des évaluations économiques à ces échelles plus larges au prix de simulations du fonctionnement de modèles virtuels de ces systèmes (par exemple, l'exploitation agricole, cf. Pardo et al., 2010). L'échelle du système de culture (sur une ou plusieurs parcelles) est une échelle décisionnelle offrant une résolution spatiale suffisamment fine pour évaluer les impacts des interventions culturales effectuées à l'échelle parcellaire et une échelle temporelle suffisamment longue pour juger des performances productives et sociales attendues ainsi que des effets cumulatifs des systèmes sur l'environnement (Craheix et al., 2012).

Sur le plan temporel, une difficulté de l'évaluation des systèmes de culture vient du fait que les données disponibles sont obtenues à un moment donné, sur une période plus ou moins longue, alors que l'agroécosystème est fortement dynamique. Les itinéraires techniques, les niveaux de pression des bioagresseurs, les rendements dépendent des particularités climatiques de l'année. Par ailleurs, l'évaluation des effets cumulatifs des systèmes de culture sur le stock semencier des adventices, sur l'inoculum de maladies fortement endocycliques, ou sur le stock de matière organique du sol ne peut se faire que sur des temps longs.

### **I.5.2. Critères et indicateurs d'évaluation des performances des systèmes agricoles**

La performance est définie par la capacité des systèmes de culture à répondre à différents objectifs, notamment au regard des trois piliers du développement durable, à savoir économique, environnemental et social (Petit et al., 2012b). Certains auteurs distinguent aussi l'évaluation des performances agronomiques et techniques, qui sont des composantes des processus de production et contribuent donc directement aux performances économiques, parfois à des échelles de temps qui dépassent strictement la période sur laquelle le système est évalué. L'évaluation du niveau de maîtrise d'un bioagresseur faiblement endocyclique (par exemple une maladie aérienne) est un indicateur agronomique directement lié à la performance économique. Si la maladie est très développée, le rendement peut être affecté, et avec lui les indicateurs de productivité et de rentabilité économique. Cette évaluation contribue au diagnostic sur le fonctionnement du système, mais n'est pas forcément indispensable à l'évaluation de sa durabilité. En revanche, l'évaluation du niveau de maîtrise des bioagresseurs fortement endocyclique (adventices par exemple) est nécessaire pour

compléter l'évaluation de la durabilité. Une mauvaise maîtrise de la flore adventice au cours de la période évaluée, caractérisée par une augmentation des densités d'adventices année après année, peut ne pas avoir d'impact sur les rendements et la rentabilité économique au cours de cette période, mais compromettre cette rentabilité au cours des années ultérieures (Chikowo et al., 2009).

La performance des systèmes de culture peut être estimée par le biais d'indicateurs quantitatifs et qualitatifs, en prenant soin d'utiliser des critères pertinents, faciles à obtenir, compréhensibles et non redondants (Loyce et Wery, 2006 ; Debaekeet al., 2008). Van Cauwenbergh et al. (2007) proposent un cadre d'analyse hiérarchisant les éléments de l'évaluation de la durabilité des systèmes agricoles (adapté de Lammerts van Bueren and Blom, 1997). Les critères sont des objectifs d'évaluation spécifiques liés à l'état du système, qui sont plus concrets que les objectifs généraux et plus facile à relier à des indicateurs d'évaluation. Le choix des critères doit être basé sur des connaissances approfondies du système évalué.

Les indicateurs sont des variables de différentes natures dont l'objectif est d'évaluer les critères associés. La valeur des indicateurs peut être appréciée sur la base de calculs fondés sur le descriptif des pratiques, sur la base de mesures et d'observations de terrain, ou sur la base d'estimations mobilisant la modélisation ou l'expertise (Bockstaller et al., 2008). L'objectif d'un indicateur est de donner une information simple et lisible sur une réalité complexe. Les indicateurs de durabilité ont pour fonction de juger la compatibilité des systèmes de culture d'une parcelle ou d'une exploitation agricole avec les exigences de la durabilité ; ils permettent de classer les systèmes de culture (Bockstaller and Girardin, 2003).

L'évaluation de la contribution des systèmes de culture au développement durable nécessite de considérer une gamme d'indicateurs couvrant les différents volets de la durabilité, et plus largement les différents enjeux auxquels l'agriculture est confrontée. Des méthodes d'évaluation des systèmes de culture ont été développées : en France, et pour le domaine des grandes cultures, on peut citer INDIGO (Bockstaller et Girardin, 2006), MASC (Craheix et al., 2012 pour la version MASC 2.0), IDEA (Zahm et al., 2005). La méthode suisse SALCA fondée sur l'Analyse de Cycle de Vie adaptée aux systèmes agricoles a également été utilisée (Deytieux et al., 2012). Ces méthodes proposent une gamme d'indicateurs d'évaluation couvrant soit l'évaluation environnementale, soit l'évaluation des trois piliers de la durabilité, parfois complétés par des indicateurs agronomiques et techniques (Tableau 1). La méthode MASC 2.0 propose par exemple plus de 60 indicateurs, et permet donc une évaluation très détaillée de la durabilité, même si certains indicateurs ne peuvent être évalués qu'avec une certaine imprécision, en raison du manque de connaissances disponibles et organisées sur les effets de systèmes de culture (par exemple, effets sur la diversité microbienne des sols).

Sur l'ensemble des exemples d'évaluation de systèmes de culture publiées, l'évaluation économique repose sur une faible diversité d'indicateurs rendant essentiellement compte du profit pour l'agriculteur (Deytieux et al., 2015). Les indicateurs fondés sur des calculs de marge sont parfois complétés par une estimation de la robustesse par rapport à la variabilité des rendements et la volatilité des prix du marché (Prato and Herath, 2007;

Lechenet et al., 2014), et par des indicateurs d'efficacité économique, d'indépendance économique (par exemple par rapports aux aides publiques), et de capacité d'investissement (Colomb et al., 2013; Vasileiadis et al., 2013). Les impacts économiques des systèmes de culture sur des échelles plus larges, comme le fonctionnement des filières ou la balance commerciale nationale, sont rarement considérés. L'impact des systèmes de culture sur le volet social est classiquement le moins bien évalué. Il porte souvent sur la charge de travail associée au système, parfois complété par des indicateurs de complexité, d'organisation du travail, d'impact sur la santé humaine de l'agriculteur ou des populations rurales. La contribution à l'emploi est un critère jugé important, mais difficile à évaluer car clairement connecté à la rentabilité économique. La productivité par hectare est considérée par certains auteurs comme un indicateur social dans la mesure où elle permet de satisfaire aux besoins alimentaires de la société (Craheix et al., 2012) à l'échelle mondiale. La question du rôle de l'agriculture des zones tempérées pour la satisfaction de ces besoins mondiaux fait cependant l'objet de débats.

La gamme des indicateurs environnementaux mobilisés sur les évaluations de systèmes de culture publiée est très large : consommation des ressources non renouvelables (énergie, phosphore, eau), émissions de gaz à effets de serre et de contribution au changement climatique global, évolution des sols et de leur fertilité physique, chimique et biologique, bouclage des cycles des éléments fertilisants, impacts des intrants (notamment pesticides) sur la qualité de l'environnement, impacts sur la biodiversité (Deytieux et al., 2015). Le niveau de dépendance des systèmes de culture aux pesticides est classiquement estimé par l'Indicateur de Fréquence de Traitement (IFT), défini comme la somme du nombre de produits phytosanitaires épandus sur une campagne agricole, pondérée par la dose (exprimée en relatif par rapport à une dose de référence) et par la proportion de surface traitée. L'IFT n'est pas un indicateur d'impact environnemental. Il peut être considéré comme un indicateur de performance dans le contexte ECOPHYTO actuel d'injonction à la réduction d'usage de pesticides par l'agriculture française.

Tableau 1.Exemples (non exhaustifs) d'indicateurs d'évaluation applicables à l'échelle du système de culture pour quatre méthodes d'évaluation utilisées en France. Les exemples ont été choisis pour illustrer la diversité des domaines de durabilité couverts par ces méthodes d'évaluation.

<b>Indicateur</b>	<b>Domaine de durabilité</b>	<b>Critère, domaine d'évaluation</b>
<b>Méthode INDIGO</b>		
I_Succession culturale	Agronomie	Diversité de la succession culturale et cohérence agronomique
I_MO	Environnement	Fertilité du sol, Evolution de la matière organique
I_Phosphore		Consommation de ressources non renouvelables
I_Azote		Risque de perte d'azote dans l'environnement
I_Phy		Risque environnemental associé aux pesticides
I_Irrigation		Consommation d'eau d'irrigation au regard des besoins
I_Energie		Consommation en énergie
<b>Méthode SALCA</b>		
Global warming	Environnement	Emissions de Gaz à effets de serre, Impact sur le changement climatique
Eutrophisation		Impact sur l'eutrophisation des milieux
Acidification		Impact sur l'acidification
Ecotoxicité aquatique		Impact des intrants utilisés sur la faune aquatique
Ecotoxicité terrestre		Impact des intrants utilisés sur la faune aquatique
Toxicité humaine	Environnement, social	Impact potentiel des intrants utilisés sur la santé humaine
<b>Méthode MASC 2.0</b>		
Marge Semi- Nette	Economie	Rentabilité économique du système de culture
Efficiencce économique		Dépendance aux intrants
Maîtrise de l'état structural du sol		Maintien de la capacité productive à long terme
Complexité	Social	Facilité de mise en œuvre pour l'agriculteur
Surcharge de travail		Facilité de mise en œuvre pour l'agriculteur
Productivité		Satisfaction des besoins de la société
Maitrise des pertes de NO3	Environnement	Impact sur la qualité des eux
Maitrise des émissions de pesticides dans l'air		Impact sur la qualité de l'air
Maîtrise de l'érosion		Impact sur la durabilité des sols
Efficiencce énergétique		Consommation de ressources non renouvelables
Conservation des microorganismes du sol		Impact sur la biodiversité
<b>Grille IDEA</b>		
Diversité des cultures annuelles	Durabilité agro-écologique	Autoévaluation de la diversité domestique
Pesticides		Autoévaluation des pratiques agricoles
Contribution à l'emploi	Durabilité socio-territoriale	Auto-évaluation de la contribution à l'emploi local
Taux de spécialisation économique	Durabilité économique	Auto-évaluation de la viabilité économique
Efficiencce		Auto-évaluation de l'efficiencce du processus productif

Les résultats des évaluations des impacts environnementaux des systèmes de culture peuvent dépendre de l'unité fonctionnelle utilisée (Nemecek et al., 2011 ; Deytieux et al., 2012). Les indicateurs quantitatifs sont très fréquemment exprimés par unité de surface de terre labourable (par exemple : consommation d'énergie par hectare et par an), faisant implicitement référence à la fonction d'occupation et de valorisation des terres agricoles. Deytieux et al. (2012) envisagent deux autres unités fonctionnelles pour exprimer les impacts environnementaux, respectivement par unité de productivité (exprimée soit en MJ/ha, soit en produit brut par hectare) ou par unité de revenu agricole généré. Ces unités fonctionnelles sont pertinentes au regard des fonctions de production de biens agricoles et d'élaboration du revenu pour les agriculteurs. Pour plusieurs systèmes de culture contrastés, l'évaluation peut être très différente en fonction de la fonction prioritaire considérée pour l'agriculture (valorisation des terres, production de biens, élaboration du revenu), si les systèmes évalués diffèrent par leur niveau de productivité ou de rentabilité par hectare.

### **I.5.3. Indicateurs simples vs. indicateurs agrégés**

L'évaluation de la durabilité des systèmes de culture nécessite la prise en compte de plusieurs critères et indicateurs. Certaines méthodes d'évaluation présentent la diversité des performances sous la forme de tableaux de bord, correspondant à des représentations graphiques des divers indicateurs simples. Les graphiques « en radar » permettent de comparer plusieurs systèmes de culture, et de faire ressortir les forces et faiblesses de chacun d'entre eux (Davis et al., 2012; Fernandes and Woodhouse, 2008). Dans le cas de l'évaluation d'une diversité de systèmes, des typologies de profils de performance ont été réalisés (Mézière et al., 2015) sur la base d'analyses multivariées associées à une classification hiérarchique, dans le but d'analyser les liens éventuels entre les caractéristiques des systèmes de culture et les profils de performance.

D'autres méthodes proposent d'agréger les informations disponibles sur les divers critères de performance en un (ou plusieurs) indicateur(s) synthétique(s) de durabilité globale. On distingue principalement trois modalités d'agrégation :

- Somme de notes ou moyennes pondérées d'indicateurs normalisés (Dolman et al., 2012; Prato and Herath, 2007; Ripoll-Bosch et al., 2012) ;
- Distance à une courbe enveloppe 'optimale' dans l'espace multidimensionnel des différentes performances à maximiser ou à minimiser (Gerdessen and Pascucci, 2013; Kanellopoulos et al., 2012) ;
- Agrégation qualitative suivant un modèle d'arbre de décisions avec différents niveaux d'agrégation successifs, chaque agrégation suivant une règle qualitative codée par une fonction d'utilité (tableau de règles de décision qualitatives) qui rend compte du poids relatif de chaque critère d'évaluation (Craheix et al., 2012).

L'agrégation en indicateur unique de synthèse permet d'identifier les systèmes de culture qui présentent la meilleure durabilité globale, c'est-à-dire qui concilient le mieux les éventuels antagonismes existant entre les critères d'évaluation.

## **I.6. Méthodes de conception des systèmes de culture**

La nécessité de prendre en compte les différents aspects de la durabilité nécessite de faire évoluer les systèmes de culture, en tenant compte des situations de production spécifiques. Il n'existe évidemment pas de système de culture qui serait optimal pour toutes les situations de production. En conséquence, la réflexion agronomique s'est développée sur la question de la conception de systèmes de culture adaptés aux spécificités du milieu et aux objectifs particuliers qu'on se fixe.

### **I.6.1. Conception « pas à pas » conception de novo, prototypage**

Meynard (2012) distingue deux types de conception de systèmes agricoles:

- Une conception dite « pas à pas » qui vise à améliorer progressivement des systèmes existants en vue d'atteindre les nouveaux objectifs fixés. Cette démarche de progrès est itérative : des changements sont apportés progressivement au système dans le cadre de boucles successives d'essai/erreur. Elle simule les dynamiques d'apprentissage sur les innovations techniques introduites chaque année. Elle correspond en général à une exploration prudente du champ des possibles, le système reconçu n'étant pas initialement en rupture forte par rapport au système initial. C'est la démarche qui est généralement adoptée dans le cas d'accompagnement de groupes d'agriculteurs engagés dans un projet de changement de pratiques (cf. l'exemple du réseau de fermes du programme 'Protection Intégrée en Picardie', Mischler et al., 2009). On peut cependant souligner le risque de perte de cohérence globale du système de culture au cours des étapes intermédiaires de la conception, si son évolution ne concerne qu'une brique élémentaire, sans adaptation des autres composantes. Dans ce cas, le système 'provisoire' moins cohérent peut apparaître moins 'durable' que le système initial ; selon la personnalité du concepteur, la dégradation des indicateurs de durabilité globale peut conduire à une évolution vers un système à la fois en rupture plus forte par rapport au système initial et potentiellement plus cohérent et durable, ou motiver un retour en arrière vers le système initial.
  
- Une conception innovante (dite 'de novo') qui vise à proposer d'emblée un système en rupture forte par rapport à l'existant, a priori mieux susceptible de correspondre aux objectifs fixés. Cette démarche permet d'explorer toutes les possibilités, en 'débridant l'inventivité' (Meynard, 2012), et en se détachant de l'influence de systèmes existants. La démarche de prototypage peut s'inscrire dans le cadre de la conception pas-à-pas ou de la conception innovante. Elle a été formalisée par Vereijken (1997), puis reprise dans de nombreuses expériences de conception de systèmes de culture (Rossing et al., 1997 ; Stoorvogel et al., 2004 ; Lançon, 2007 ; Blazy et al., 2009 ; Rapidel et al., 2009). Elle est aujourd'hui en France la base méthodologique du réseau d'expérimentation du Réseau Mixte Technologique 'Systèmes de Culture Innovants'. Elle comporte les étapes suivantes :
  - détermination et hiérarchisation des objectifs à atteindre ;

- définition des stratégies, des techniques et des leviers de gestion permettant d'atteindre les objectifs fixés ;
- identification d'indicateurs multi-objectifs quantifiables pour évaluer le système ;
- conception d'un ou plusieurs prototypes théoriques de système de culture sur la base des techniques identifiées, en spécifiant l'ordre de leur mise en œuvre et leur cohérence ;
- test du prototype dans des conditions réelles, dans des fermes expérimentales ou chez des agriculteurs ;
- diffusion du prototype une fois que les objectifs ont été atteints.

### **I.6.2. Les ressources méthodologiques de la conception de systèmes de culture**

Les travaux des décennies passées sur la conception de systèmes de culture ont permis de formaliser un certain nombre de ressources méthodologiques, qui sont utiles pour la conception de novo comme pour la conception pas-à-pas :

- Le diagnostic régional a pour objectif de caractériser les systèmes agricoles actuels, d'identifier leurs limites, de définir les objectifs à atteindre pour les systèmes à concevoir et les contraintes définies par la situation de production. Ce travail mobilise l'expertise agronomique locale et les porteurs d'enjeu qui ont la capacité de définir le poids relatif des critères d'évaluation.
- L'atelier de co-conception vise à réunir différents acteurs (chercheurs, conseillers, agriculteurs) pour lister les stratégies et techniques mobilisables et les assembler dans des prototypes théoriques cohérents.
- L'expérimentation 'système' est une innovation méthodologique des années 90 (Reau et al., 1996 ; Nolot et Debaeke, 2003 ; Debaeke et al., 2009), qui connaît un développement important en France avec le réseau DEPHY-Expé mis en place dans le cadre du plan ECOPHYTO. Par rapport à l'expérimentation factorielle classique, l'expérimentation 'système' ne cherche pas à mettre en évidence l'effet d'un facteur ou d'une interaction entre facteur, 'toutes choses égales par ailleurs'. Chaque traitement expérimental est un système, composé d'un nombre non limité de composantes combinées dans un ensemble cohérent défini en fonction d'un jeu d'objectifs et de contraintes prédéfinis. Les systèmes testés sont définis en général par des ensembles de règles de décision plutôt que par des séquences figées de modalités techniques, permettant ainsi d'intégrer une flexibilité décisionnelle cohérente avec la réalité agricole. Une expérimentation 'système' peut être mise en place avec au moins quatre types d'objectifs (non exclusifs, cf. Lechenet et al., soumis) :
  - Contribuer à la conception d'un système innovant, dans le cadre d'une démarche de conception 'pas-à-pas' ;
  - Evaluer la durabilité globale d'un ou plusieurs prototypes de systèmes de culture, au regard des objectifs assignés ;

- Evaluer les effets cumulatifs à long terme sur des variables soumises à ce type d'effet, comme le stock de semences d'adventices dans le sol ou la matière organique du sol.
  - Contribuer à la compréhension du fonctionnement d'un agroécosystème complexe.
- L'évaluation multicritère de systèmes de culture (cf. ci-dessus) peut être mobilisée *a priori*, pour évaluer les prototypes proposés par les ateliers de co-conception, et sélectionner ceux d'entre eux qui pourront être testés sur le terrain ; elle peut être mobilisée *a posteriori*, par exemple sur la base des données produites par les expérimentations 'systèmes', que ce soit dans le cadre d'une conception pas-à-pas ou d'une évaluation d'un prototype évalué expérimentalement dans la durée.

### Un exemple d'expérimentation 'système' : le dispositif 'Protection Intégrée contre la flore adventice' de Dijon-Epoisses

L'expérimentation PIC-Adventices de Dijon-Epoisses a été mise en place en 2000 sur des parcelles de l'unité expérimentale INRA d'Epoisses. L'objectif est de conduire une évaluation de quatre prototypes de systèmes de culture conçus selon les principes de la protection intégrée contre la flore adventice, à la fois sur leur capacité à maîtriser la flore adventice sur le long terme avec peu d'herbicides, et sur leur durabilité globale. Le dispositif comporte cinq systèmes de culture, dont un système de référence et quatre systèmes relevant de la protection intégrée. Chaque système est répété sur deux parcelles, l'ensemble du dispositif couvrant environ 17 ha.

Chaque système est défini par un ensemble d'objectifs, de contraintes, de choix stratégiques et de règles de décision. La succession culturale elle-même n'est pas figée, mais adaptable en fonction de l'évolution des parcelles, notamment leur évolution malherbologique. Par exemple, une luzerne a été introduite sur une parcelle du système SdC 5 sans herbicide en 2008 pour lutter contre le chardon des champs (*Cirsium arvense*) qui s'y développait, alors que l'autre parcelle du SdC 5 ne comportait pas de chardon et ne nécessitait pas de mettre en œuvre ce levier de gestion particulier.

Les principales caractéristiques des cinq systèmes de culture sont les suivantes :

- SdC 1: Système de référence proche des pratiques standard locales. La rotation est Colza-Blé-Orge d'hiver. Le labour est réalisé chaque année, et le désherbage repose essentiellement sur le choix d'herbicides adaptés à la flore présente, conformément aux conseils des techniciens locaux.
- SdC 2: Système mettant en œuvre les principes de protection intégrée dans le contexte particulier de l'absence de travail du sol profond, correspondant à une ferme de grande taille à faibles ressources humaines par hectare. Toutes les composantes de la protection intégrée sont mobilisées (diversification des cultures et des dates de semis, variétés compétitives, retard de dates de semis, ...), sauf le labour et le désherbage mécanique, difficilement mobilisable dans ce contexte. La stratégie globale a changé en 2007 pour ce système, passant d'une stratégie de faux-semis fréquents à une stratégie de semis direct sous couvert végétal, sans aucun travail du sol.
- SdC 3: Système mettant en œuvre les principes de protection intégrée, y compris le labour occasionnel, la diversification des cultures et des dates de semis, les variétés compétitives, le retard de dates de semis, ..., mais pas le désherbage mécanique.
- SdC 4: Système PIC typique mettant en œuvre tous les principes de protection intégrée, y compris le désherbage mécanique (herse étrille, binage, houe rotative, désherbage mixte).
- SdC 5: Système excluant l'usage d'herbicides. Toutes les composantes de la protection intégrée sont mobilisées, y compris la diversification des successions par l'introduction de cultures fourragères pluri-annuelles. Ce système ne suit pourtant pas le cahier des charges de l'agriculture biologique, puisque la fertilisation est apportée sous forme minérale, et que les insecticides et fongicides sont acceptés, même si l'objectif est de limiter leur emploi.

Les observations et mesures sont réalisées dans la perspective de l'évaluation globale des systèmes de culture. Les principes de protection intégrée ont permis de réduire considérablement le recours aux herbicides (sauf dans le SdC 2 au cours de la période 'semis direct sous couvert végétal', en raison de l'utilisation importante du glyphosate). La maîtrise de la flore adventice a été satisfaisante au cours du premier cycle de rotation de 6 ans (Chikowo et al. 2009). Cependant, la flore adventice a changé sur les parcelles en protection intégrée, de nouvelles espèces remplaçant les espèces les plus sensibles aux leviers de gestion alternatifs aux herbicides.

Sur la base d'Analyse de Cycle de Vie (Deytieux et al., 2012), la plupart des indicateurs d'impacts environnementaux ont été améliorés (consommation d'énergie, émissions de gaz à effets de serre, eutrophisation des milieux, écotoxicité et toxicité pour les humains). La productivité tend à être plus faible dans les systèmes suivant les règles de protection intégrée par rapport à la référence, mais les faibles charges permises par la réduction d'intrants peuvent compenser la baisse de produit brut, au moins dans certains scénarios de prix envisagés (pas tous !), permettant alors de préserver la rentabilité économique.

### **I.6.3. Le cas particulier de la conception assistée par ordinateur**

#### **I.6.3.1. Utilisation des modèles de simulation**

De nombreux modèles permettent de simuler le fonctionnement de l'agroécosystème en fonction des systèmes de culture, par exemple : Cropsyst (Stöckle et al., 2003), Stics (Brisson et al., 2003) pour la simulation des effets des systèmes de culture sur les couverts cultivés et le fonctionnement du sol, FlorSys (Colbach et al., 2014) pour la simulation des effets des systèmes de culture sur la démographie de la flore adventice, Moderato (Bergez et al., 2001) pour le fonctionnement hydrique du champ cultivé et le pilotage de l'irrigation, ... Ces modèles sont en théorie utilisables pour la conception de systèmes de culture (Rossing et al., 1997 ; Bergez et al., 2010). Ils permettent d'évaluer a priori, sur la base d'expérimentations 'in silico', un grand nombre de systèmes candidats, générés par expertise, par combinatoire aveugles de techniques, voire par des procédures d'optimisation mobilisant l'intelligence artificielle (Bergez et al., 2010). Les modèles permettent une exploration très large des combinaisons techniques, et renseignent sur des effets potentiels à long terme dans le cas de processus cumulatifs (Meynard, 2012). Cependant, sauf exception (voir par exemple Mézière et al., 2015), les modèles de simulation restent relativement peu utilisés pour la conception de systèmes de culture, peut-être parce que les modèles complexes manquent de capacité prédictive, ou sont jugés peu adaptés ou difficile à utiliser par d'autres que leurs concepteurs (Meynard, 2012). Ceci est particulièrement vrai dans le domaine de la protection intégrée, car les modèles simulant les interactions entre « pratiques agricoles » et « dynamique des bioagresseurs » sont encore peu nombreux ou peu validés.

#### **I.6.3.2. Conception par optimisation**

La programmation linéaire est la méthode la plus utilisée en matière d'optimisation. Elle implique que la fonction 'objectif' retenue et les contraintes formulées soient toutes linéaires. C'est une approche devenue classique au niveau des problèmes agricoles. Dans les années 60, on note un développement théorique et appliqué en agriculture (par exemple Klatzmann 1959 ; Lefort et Sebillotte, 1964 ; Boussard, 1970). Les travaux ont permis de définir des composantes stratégiques des assolements et des intrants, des sens d'évolution et des références pour alimenter la définition de politiques agricoles. Par contre l'outil est moins adapté pour la gestion unitaire des exploitations agricoles. D'autres procédures seront mises en place à partir des années 70 (Attonaty et Hautcolas, 1976) sous forme de « budget automatisé » que l'on peut ranger dans les modèles de simulation précédemment décrits. Malgré le développement ultérieur de la programmation linéaire, puis non linéaire, les tentatives de l'appliquer au niveau des systèmes de culture sont rares (les analyses reposent le plus souvent sur la recherche d'assolements optimisés).

Elle a été par exemple utilisée pour définir des composantes importantes de l'exploitation agricole : la succession culturale avec l'outil ROTAT (Dogliotti et al., 2003), ou l'assolement avec l'outil Atouprix (Dongmo et Munier-Jolain, 2011). Notre objectif est d'identifier la combinaison technique qui permet d'optimiser un ou plusieurs critères (par exemple un indicateur économique de marge), tout en respectant un ensemble de contraintes (par

exemple, des couples précédents/suivants impossibles ou non souhaitables pour des raisons agronomiques, ou des règles de diversification des cultures). Les outils disponibles pour traiter notre problème sont nombreux mais avec une ergonomie variable. L'existence de limites sur le nombre de critères et/ou des modalités d'expression des règles engendrent souvent des résultats très fragmentés. Dans le Chapitre III nous présenteront les avantages et inconvénients des outils disponibles en vue de choisir le plus approprié. Cette réflexion a été menée de façon conjointe avec nos collègues économistes de l'UMR CESAER animés par Stéphane Blancard.

### **I.7. Démarche retenue pour la thèse**

Rappelons que l'objectif général de la thèse consiste à réaliser une évaluation *a priori* des conséquences qu'aurait l'adoption généralisée des principes de protection intégrée par tous les agriculteurs d'un territoire donné (zones de grandes cultures et polyculture uniquement), en prenant en compte la diversité des situations de production de ce territoire. La démarche envisagée pour atteindre cet objectif comporte trois grandes étapes :

La première étape consiste à caractériser la diversité des situations de production et des systèmes de culture dans la région considérée. L'élaboration d'une typologie de situations de production est visée. Chaque type de situation de production est caractérisé par un ensemble de descripteurs du milieu, du contexte socio-économique, et par un jeu de contraintes déterminant en partie les choix techniques des agriculteurs. C'est aussi l'occasion d'étudier les liens entre les situations de production et les systèmes de culture actuels qu'on y trouve. L'objectif est d'évaluer la part de la variabilité des systèmes de culture qui est directement déterminée par les caractéristiques de situations de production. Ce type d'analyse a été rarement conduit au niveau régional.

La deuxième étape, pour chaque type de situation de production identifié, propose une génération d'une gamme de systèmes de culture, qui respectent un ensemble de principes de protection intégrée, et sont adaptés aux contraintes et caractéristiques de la situation de production. Il s'agit de construire des itinéraires techniques qui respectent les principes de protection intégrée pour chaque culture possible dans la situation de production considérée. On tient compte alors des cultures précédentes, de l'estimation des performances agronomiques de chaque culture dans ce contexte, et de la variabilité de ces performances. Les itinéraires techniques et les performances estimées sont à la base de 'matrices technico-économiques'. Ces matrices synthétisent les performances économiques et environnementales de chaque itinéraire technique décrit. Ensuite on génère des systèmes de culture sur la base de la succession de ces itinéraires techniques et sur une optimisation du critère de rentabilité économique (marge semi-nette par ha), tout en respectant un ensemble de règles de successions culturales correspondant aux principes de protection intégrée. Cette démarche de génération de systèmes de culture repose donc sur deux hypothèses. La première hypothèse est que la succession culturale est un déterminant clef de la rentabilité économique des systèmes de culture dans le cadre contraint de la protection intégrée. La deuxième hypothèse est que l'optimisation économique est un critère de décision majeur orientant les choix stratégiques et techniques des agriculteurs. Ces hypothèses seront discutées dans le dernier chapitre du document.

La troisième étape consiste en une évaluation des systèmes de culture actuels et générés sur la base d'un petit nombre d'indicateurs couvrant les principaux enjeux de la durabilité économique, environnementale et sociale, pour chaque type de situation de production. Elle permet d'évaluer *a priori* les conséquences du passage à la protection intégrée, pour la région considérée. Nous pouvons alors classer les situations de production sur un gradient allant des situations les plus favorables aux moins favorables au changement de pratiques pour réduire la dépendance aux pesticides.

Les ressources disponibles pour suivre cette démarche générale sont les suivantes :

- Des données d'enquêtes sur les pratiques agricoles actuelles, fournies par le Service de la Statistique et de la Prospective (SSP) du ministère en charge de l'agriculture (données dont la valorisation est soumise à des règles très strictes relatives au secret statistique). Les données utilisées au cours de ce travail correspondent aux enquêtes 'Pratiques culturelles' réalisées en 2006, données les plus récentes disponibles au début de la thèse ;
- Des données de cartographie du milieu (sol, climat, voire pression en bioagresseurs avec les informations du Bulletin de Santé du Végétal) ;
- Une expertise sur la protection intégrée et sur le comportement des cultures en fonction des situations de production et des itinéraires techniques, issues en partie des expérimentations d'évaluation de prototypes de systèmes de culture en protection intégrée, en partie des conseillers de terrain (Chambre d'Agriculture) engagés dans des programmes d'accompagnement d'agriculteurs dans leurs changements de pratiques. Pour certaines régions de France, l'outil Persyst (Guichard et al.) fournit une estimation du rendement probable pour une large gamme de cultures candidates, en fonction du type de sol et du mode de conduite. En Bourgogne, l'expérimentation sur la Protection Intégrée de Dijon-Epoisses a montré que les combinaisons de leviers de gestion mobilisés permettaient de maîtriser la flore adventice sur le long terme tout en réduisant de façon importante le niveau d'usage d'herbicides.
- Des outils d'optimisation par programmation linéaire.

Le territoire initialement prévu pour la thèse était la surface agricole du territoire national français métropolitain dédiée aux grandes cultures et à la polyculture-élevage. Le territoire a finalement été restreint à la Bourgogne, qui comporte les propriétés favorables suivantes :

- Un bon contraste entre les différents types de situation de production, avec un nombre de situations de production contrastées qui reste raisonnable ;
- Un accès facilité à l'expertise locale dans une région pionnière dans le domaine de la protection intégrée, tant du côté de la recherche (expérimentation système de Dijon-Epoisses) que du développement agricole (programmes successifs de développement de la protection intégrée conduits par les Chambres d'Agriculture en Bourgogne).

## I.8. Caractéristique du territoire d'étude : La Bourgogne

La Bourgogne est une des 27 régions administratives de la France. Localisée au centre-est du pays, elle est caractérisée par un climat semi-continental, avec des hivers plutôt froids (température moyenne en Janvier allant de 0 à 3°C), et des étés plutôt chauds (température moyenne en Juillet allant de 17 à 20,5 °C). Les températures sont plus froides sur les reliefs du centre et les parties du sud-ouest de la région, et plus chaudes dans les basses terres des régions du sud-est. La pluviométrie moyenne est de l'ordre de 650 à 1000 mm, elle est corrélée avec l'altitude, qui varie principalement de 160 à 600 m pour les zones agricoles.

La Bourgogne est une région agricole qui compte environ 20000 exploitations sur une surface agricoles utiles de 1,7 millions d'hectares. Les exploitations agricoles se sont spécialisées dans quatre grandes filières : l'élevage bovin viande (26% des effectifs), les grandes cultures à dominante céréales et oléoprotéagineux (20%), les cultures pérennes à dominante viticole (18%) et la polyculture élevage (13%) (Recensement agricole, 2010).

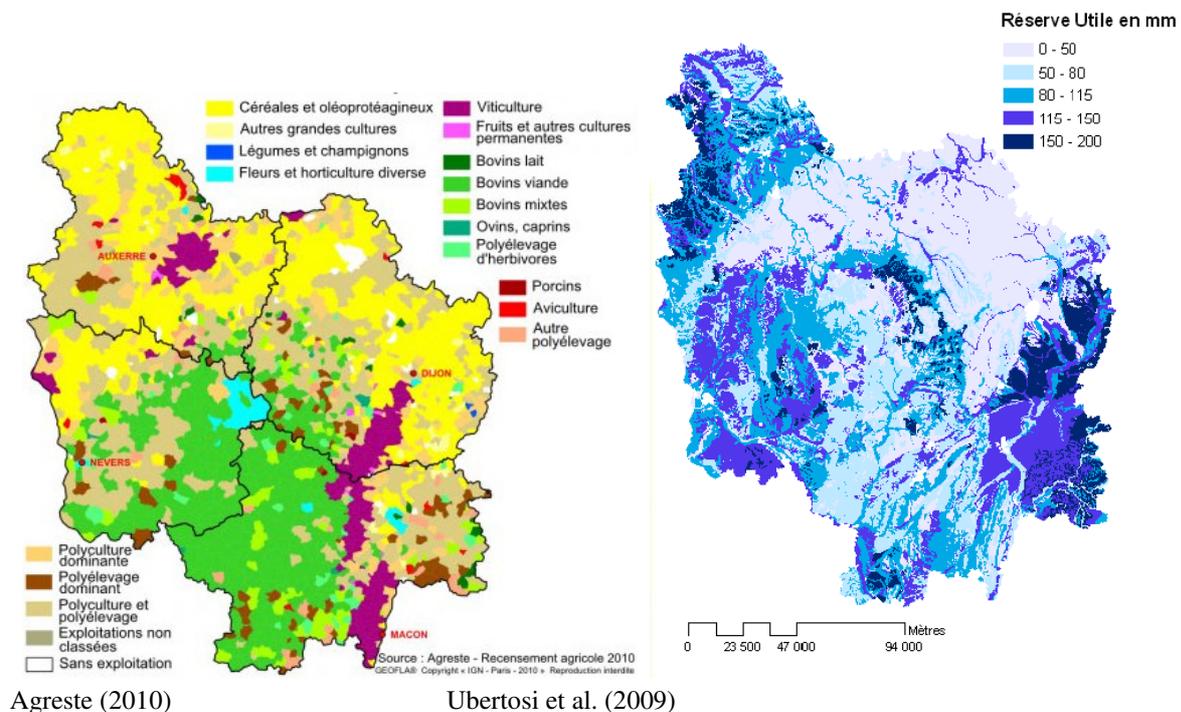


Figure 1. Orientations technico-économiques de l'agriculture en Bourgogne, et carte de la réserve utile des sols

La Bourgogne compte parmi les premières régions en France productrices de grandes cultures. Trente pour cent de la SAU est dédiée aux céréales d'hiver (essentiellement le blé tendre (*Triticum aestivum*) et l'orge (*Hordeum vulgare*)), et au colza (*Brassica napus*), ainsi qu'à la culture du maïs (*Zea mays*), destinée principalement à l'alimentation animale.

La Bourgogne présente une grosse hétérogénéité de sols, notamment par la texture, la profondeur, et en conséquence par la Réserve Utile (Figure 1). Les systèmes céréaliers sont principalement situés dans la moitié nord de la région sur des sols argilo-calcaire, plutôt peu

profonds, avec des réserves utiles faibles (<50 mm), qui correspondent aux plateaux, mais aussi sur des terres plus profondes avec des textures limono-argileuses ou limoneuses et une réserve utile plus élevée (>100 mm). L'activité d'élevage associée aux systèmes basés sur le maïs et la monoculture de maïs est plutôt localisée dans le sud principalement en Saône et Loire où les sols sont soit argileux ou sableux (Petit et al., 2012a). Les zones viticoles, ainsi que les surfaces toujours en herbe du Sud-Ouest de la Région dédiées à l'élevage bovin-viande, ne sont pas considérées dans notre travail.

La stratégie principale adoptée par les différentes filières de production végétale reste l'exportation hors de la région : 42% du volume total des productions de qualité (essentiellement le blé et l'orge) est exporté vers l'UE et des pays tiers, 36% est à destination des autres régions de France, et 22% reste en Bourgogne.

Il existe un certain nombre d'industries agro-alimentaires sur le territoire bourguignon, qui assurent la transformation des produits agricoles, soit à destination de l'alimentation humaine (meunerie, amidonnerie, trituration, huile de lin), soit à destination de l'alimentation animale, principalement les bovins, les volailles et les porcs (déshydratation de la luzerne) (DRAFF, Etude prospective PSDR Bourgogne).

La Bourgogne présente une forte activité agricole principalement basée sur les grandes cultures connues pour être très consommatrices en intrants. Cette activité agricole intensive génère une pollution conséquente sur le territoire qui touche essentiellement les ressources en eau. Un suivi de la qualité des eaux de surfaces et des eaux souterraines est assuré régulièrement par les conseils généraux des quatre départements de la Bourgogne. Le rapport de synthèse publié par le DREAL (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement) sur les résultats du suivi des pesticides dans les eaux superficielles pour une durée de trois années (2008-2011) met en évidence une large contamination des eaux en Bourgogne, quelque soit le territoire et l'occupation du sol. Le secteur des grandes cultures vient en deuxième position après la viticulture avec 34% des stations contaminées, et 20% des prélèvements qui présentent des concentrations supérieures à 0,5 µg/l. Les pesticides utilisés en grandes cultures engendrent une contamination à large spectre avec 116 molécules différentes recensées, dont 47 sont des molécules aujourd'hui interdites. Les herbicides sont largement prépondérants dans la contamination des eaux de surfaces (53% des molécules recensées). Les molécules autorisées les plus quantifiées sont : chlortoluron, isoproturon, bentazone. Ces molécules sont typiques des rotations colza/blé/orge majoritaires dans la région.

La contamination de l'eau potable est aussi un problème majeur. La limite de qualité admissible est le seuil de 0,1 µg/l de substance de pesticides. Au-dessus de cette limite, l'eau est qualifiée de non conforme et nécessite un passage au charbon actif. On parle de traces entre 0,01 µg/l (valeur limite de détection) et 0,1 µg/l. En 2009, 8 % de la population de la région était concerné par une eau de robinet non conforme (25% en 2001). Sur le département de la Côte d'Or, 33 réseaux d'eau de consommation (soit 9% des réseaux de Côte d'Or), desservant 5% de la population départementale, ont été alimentés par une eau non conforme sur sa teneur en pesticides (Alterre Bourgogne, 2009).

### **I.9. En guise de conclusion**

La présentation des caractéristiques de la Bourgogne reflète l'intérêt de mettre à l'épreuve notre dispositif d'étude dans cette région agricole. L'importance et la diversité des grandes cultures, la présence de milieux pédoclimatiques contrastés qui ont autant d'atouts pour tester l'introduction de systèmes basés sur la protection intégrée. De plus, les leviers présentés dans ce chapitre pour développer une production intégrée ont pour partie été mis au point expérimentalement dans cette Région. On dispose alors, au moins pour certains milieux, de références très précieuses et sur plusieurs années. Mais avant d'être en mesure de tester l'introduction de systèmes innovants, il convient de caractériser précisément les systèmes de culture et les situations de production pour construire et choisir les références des systèmes actuels. C'est l'objet du Chapitre suivant.

## Chapitre II. Méthodes pour caractériser les systèmes de culture et leurs déterminants à un niveau régional sur l'exemple de la Bourgogne

### II.1. Introduction

L'objectif de notre travail (cf. Introduction Générale et Chapitre I) est de proposer une évaluation *ex ante* de l'adoption des principes de la protection intégrée à l'échelle d'une région agricole. Dans cette optique, une recherche a été conduite pour assembler les concepts et les méthodes susceptibles de caractériser les systèmes de culture à différentes échelles. Il s'agit d'avoir une identification des systèmes de culture croisée avec leurs déterminants grâce à la notion de situation de production. Les données de base sont celles issues des enquêtes nationales du Service de la Statistique et de la Prospective (SSP) du ministère en charge de l'agriculture, sur les pratiques culturelles de l'année 2006. Ces enquêtes font suite à celles réalisées en 1994 et 2001, mais elles ne concernent pas les mêmes parcelles enquêtées. Les données ultérieures des enquêtes réalisées en 2011 n'étaient pas disponibles au début de notre travail.

L'enquête « Pratiques Culturelles » du SSP 2006 a pour objectif de décrire les itinéraires techniques pour une culture donnée en renseignant :

- les précédents culturels sur les cinq dernières années ;
- les interventions de préparation du sol, de semis, les traitements phytosanitaires et la fertilisation ;
- les rendements enregistrés l'année 2006 ;
- pour le matériel agricole, le type de pulvérisateur est indiqué pour les céréales à pailles et les maïs.

Les données sont collectées à l'échelle de la parcelle agricole. En Bourgogne, les cultures concernées par cette enquête sont les suivantes : le blé tendre d'hiver, le colza, l'orge d'hiver et de printemps et le maïs grains et fourrage. Les effectifs enquêtés pour chaque culture ainsi que la surface exploitée sont renseignés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Nombre de parcelles enquêtées dans le cadre des enquêtes Pratiques Culturelles 2006 du SSP, pour chacune des cultures principales de la Bourgogne

Cultures	Effectifs	SAU totale (ha)
Blé tendre d'hiver	225	281 801
Orge	203	173 300
Maïs grain	74	30 500
Maïs fourrage	63	19 000
Colza	229	148 498

Le traitement des données a donné lieu à un article (Aouadi et al., 2015) qui constitue la première partie de ce chapitre. Après avoir retenu les variables qui caractérisent d'une part les systèmes de culture et d'autre part les situations de production, le principe retenu est de les croiser pour évaluer les liens entre les descripteurs de systèmes de culture et les descripteurs

de situation de production, et aboutir à des types de situation de production à confronter à la géographie régionale. Le travail présenté dans l'article est structuré en trois étapes :

- Dans un premier temps, nous avons réalisé une typologie de systèmes de culture, sur la base d'une typologie des successions culturales et d'une typologie d'itinéraires techniques pour chacune des cultures enquêtées par le SSP.
- Dans un deuxième temps, nous avons analysé la diversité des situations de production sur la base d'une analyse multivariée se fondant sur les variables descriptives retenues.
- Enfin, nous avons étudié les relations entre les types de système de culture identifiés et les variables descriptives des situations de production avec une méthode de segmentation (méthode CART, Breiman et al., 1984). Cette méthode nous a permis d'identifier séquentiellement les variables descriptives des situations de production qui permettent le mieux de classer les systèmes de culture dans des groupes homogènes. Elle aboutit à la définition de types de situation de production, caractérisés à la fois par des combinaisons de variables descriptives (variables climatiques, caractéristiques du sol, structure d'exploitation) et par les types de systèmes de culture dominants.

Les successions de culture sont décrites par des variables discrètes et ordonnées dans le temps (six années disponibles dans les statistiques). Nous avons utilisé une méthode de tri pas à pas pour construire une typologie comportant sept types de succession. Pour les itinéraires techniques et les situations de production, des analyses multidimensionnelles ont été menées de façon indépendante. Les individus sont les parcelles localisées et identifiées par leur exploitation agricole, les variables sont les descripteurs respectivement des itinéraires techniques et des situations de production. Pour les itinéraires techniques, l'analyse des correspondances multiple (ACM) est complétée par une classification hiérarchique qui nous a permis d'identifier trois types d'itinéraire technique, correspondant approximativement à une échelle croissante de niveau d'intrants (fertilisation et pesticides). Notre typologie de système de culture est construite par l'association des types de successions de culture à des types d'itinéraire technique. Comme on ne connaît qu'un itinéraire technique pour chaque système de culture de l'échantillon (celui de la culture récoltée en 2006, année de l'enquête), on est obligé de faire ici l'hypothèse de la cohérence interne du niveau d'intrants entre les cultures successives de chaque système de culture (i.e. que les colzas à fort niveau d'intrants sont associés à des blés également à fort niveau d'intrants, etc.). Dans l'article on a focalisé sur l'exemple du blé en déterminant trois classes d'itinéraires techniques caractérisés notamment par des valeurs croissantes de fertilisation azotée et d'IFT. Cette analyse a été menée sur les autres cultures enquêtées (orge d'hiver, orge de printemps, colza, maïs). Nous présenterons en deuxième partie de ce chapitre un complément d'analyse sur l'ensemble de ces cultures.

Pour faire le croisement entre systèmes de culture et situations de production deux méthodes ont été testées :

- La méthode présentée dans l'article est la méthode CART qui s'est avérée pertinente pour discriminer 6 types de situation de production pour lesquels on peut identifier des répartitions de systèmes de culture bien marquées et des variables de situations de production susceptibles de renseigner chaque type.

- Une deuxième approche consiste à réaliser indépendamment une typologie de situation de production par classification hiérarchique, puis de confronter les résultats de la typologie de système de culture avec ceux de la typologie de situation de production (tableau de contingence et analyse factorielle de correspondance). Cette méthode donne des résultats satisfaisants mais plus globaux. Elle sera présentée dans la deuxième partie de ce chapitre à titre de confrontation méthodologique.

Dans l'article on trouvera une discussion détaillée sur la typologie des situations de production proposée avec les grandes règles de cohérence avec notamment le milieu physique (climat, sol) et les filières de production. Pour illustrer et compléter ces résultats, la confrontation de ces typologies à la délimitation de petites régions agricoles de Bourgogne est présentée en deuxième partie du chapitre.

## **II.2. Analyse des déterminants des systèmes de culture en Bourgogne en fonction du contexte agricole et environnemental**



# Analyzing the impact of the farming context and environmental factors on cropping systems: A regional case study in Burgundy



N. Aouadi<sup>a</sup>, J.N. Aubertot<sup>b</sup>, J. Caneill<sup>c</sup>, N. Munier-Jolain<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> INRA, UMR 1347 Agroécologie, Dijon, France

<sup>b</sup> INRA, UMR AGIR (Agroécologies, Innovations et Ruralités), Toulouse, France

<sup>c</sup> AgroSup Dijon, UMR1347 Agroécologie, Dijon, France

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 12 December 2014

Received in revised form 6 February 2015

Accepted 11 February 2015

### Keywords:

Production situation

Typology

Regression tree model

CART

## ABSTRACT

Developing cropping systems able to improve overall sustainability requires socio-economic drivers, farm features, environmental conditions and local constraints to be taken into account. The aim of this study was to analyze the relationship between the farming context and the cropping system (CS) and to identify the components of a production situation (PS) that drive the CS characteristics. Surveys on cropping practices in 2006 in the Burgundy region were analyzed using multivariate analysis including hierarchical clustering. Thirteen groups of CS were identified and their crop sequence and level of pesticide and fertilizer use were described. A multivariate analysis was used to study the diversity in PS according to their climate, soil, and farm features. Classification and the regression tree method (CART) identified the PS variables which were most influential on CS, and defined six groups of PS that minimized intra-group CS variability. However, this variability remained high, suggesting that differences in farmer's objectives and knowledge also contributed to differentiate cropping systems in the region studied.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

## 1. Introduction

The main objectives of agriculture in the 21st century are to produce agricultural products in sufficient quantity and suitable quality, and to provide income for the farmers while reducing harm to the environment. New issues like climate change, water scarcity, biodiversity, erosion, energy transition, market price variability, associated with new regulations, mean that farming systems must be adapted. In Europe and other parts of the world, farmers are notably firmly encouraged to reduce pesticide use by adopting the principles of integrated pest management (European Directive 2009/128/EC on sustainable use of pesticides). Agricultural stakeholders (farmers, advisers, researchers, policy makers) need to learn about cropping systems that can reconcile the different aspects of sustainability (Foley et al., 2011). We particularly need to evaluate the potential for adopting such cropping systems, taking into account the variability of agricultural situations, and to evaluate the possible consequences of such changes in agricultural practices on crop production, farmers' incomes, environmental impacts and other significant issues.

The concept of cropping system (CS) was defined by Sebillotte (1990) as "a set of management procedures applied to a given, uniformly treated area, which may be a field, part of a field or group of fields". Boiffin et al. (2001) later extended the concept to a sequence and/or a spatial combination of crops and the corresponding technical operations, not only during the crop growth periods, but also between main-crop periods, with either bare soil or a plant cover. The word 'system' is used because the technical choices are interdependent, hence providing an overall consistency to the set of management components constituting cultural practices (Meynard et al., 2003).

The FAO proposes another definition of CS which highlights the link between CS and drivers of the farming context. The CS was defined as a cropping pattern used on a farm and its interaction with farm resources, other farm enterprises, and available technologies which determine technical cropping options. The CS is a subsystem of a farming system as a given farm might implement several CS and include other activities such as livestock husbandry (FAO, 1996).

Several drivers affect farmers' choices when designing cropping systems. In a specific context of banana production in the West Indies, Blazy et al. (2009) showed that the farming context includes economic factors (e.g., labor costs, investment capacity), biophysical factors (e.g., type of the soil, topography) and social factors (e.g., age of the farmer, objectives) that might influence the technical nature and performance of the cropping system. In a different con-

\* Corresponding author. Tel.: +33 380693035; fax: +33 380693262.

E-mail address: [munierj@dijon.inra.fr](mailto:munierj@dijon.inra.fr) (N. Munier-Jolain).

text of cereal crops in Europe, [Bürger et al. \(2012\)](#) found that the weather (temperature and precipitation), and the farm characteristics (farm activity, farm area, and sales) influenced the level of pesticide use, which was therefore, driven by factors other than the level of biotic stress. [Olesen and Bindi \(2002\)](#) highlighted the importance of environmental and socio-economic drivers shaping European agricultural practices. These drivers include farm structures and characteristics, target markets, climate and soil conditions ([Rounsevell et al., 2003](#)). For example, soil-related features such as high clay content and stoniness might be unsuitable for some cultivation techniques such as ploughing ([Godwin and Spoor, 1977](#)). Soils that used to be considered too wet, too shallow or insufficiently fertile for grain crops were in the past commonly used for pastures, but the development of drainage, irrigation and fertilizers tended to increase the range of possible agricultural options over a wider range of soil types ([Bakker et al., 2013](#)). The local market opportunities, input costs and output prices, price volatility, along with regulation and policies, are important factors taken into account by farmers when defining crop sequences and management options ([Bowman and Zilberman, 2013](#)).

Farmers make decisions according to both (i) their knowledge and personal objectives; it is usually assumed that farmers typically tend to look for optimized systems to provide the best possible income in the local context (e.g., [Savary and Willocquet, 2000](#); [Willocquet et al., 2008](#)), and (ii) their perception of the production situation ([Aubertot and Robin, 2013](#)). The concept of production situation (PS) was defined as “the physical, chemical and biological components of a given field and its environment that are not directly managed by the farmer, as well as socio-economic drivers that affect his decisions” ([Aubertot and Robin, 2013](#) adapted from [Bremen and de Wit, 1983](#)). The ‘environment’ of the field is here considered as the local weather and the surrounding landscape that can directly or indirectly influence cultural practices and crop growth and yield in the considered field. In the area of crop protection, the interactions between PS and CS affect, for example, the dynamics of pest populations, the combinations of injuries on crops and hence crop damage ([Aubertot and Robin, 2013](#)).

To summarize the framework of this study focusing on arable crops ([Fig. 1](#)), any CS (i.e., a crop sequence and a set of management techniques for each crop) is defined by the farmer’s decision according to his own objectives, his knowledge and his perception of the PS, with both bio-physical and socio-economic components. The performances of the system for the different aspects of sustainability depend upon the proper matching between the technical options and the farming context.

However, the relative weight of the two main drivers shaping CS (constraints and opportunities of the production situation vs. farmer’s specificities and preferences) remains poorly documented. Assisting farmers and supporting the change toward more sustainable cropping systems requires that the range of constraints affecting their decisions is better understood in order to assess the potential for the development of new systems ([Cardona et al., 2012](#)). The objective of the present study was to investigate the relationship between PS and CS at the regional scale, so as to document the relative weights of the two types of drivers shaping CS in the particular studied region (Burgundy, France), and thus to identify pathways to drive farming systems toward more sustainable ones.

## 2. Materials and methods

### 2.1. The Burgundy region

The Burgundy region is one of the 27 French administrative regions, located in the center-east of the country. The agricultural

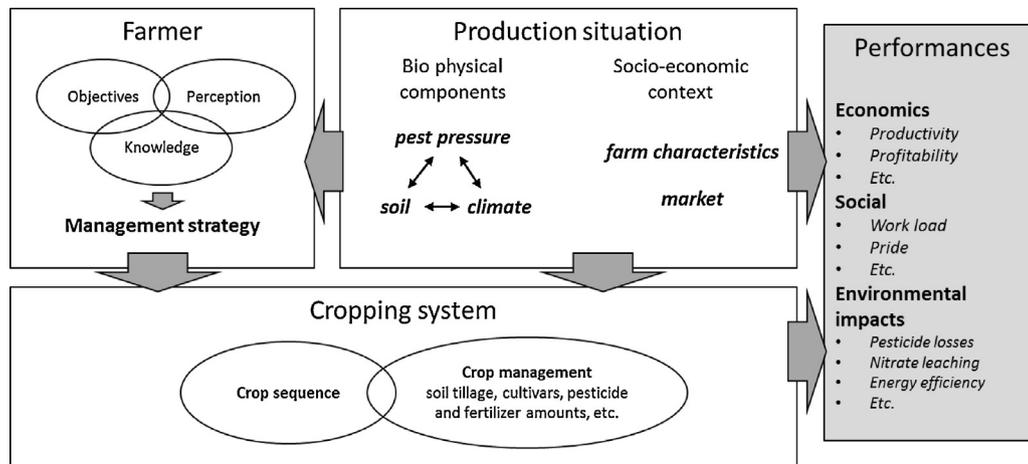
area is 1.7 million hectares, managed by a decreasing number of ca. 20,000 farmers (statistics of the French Ministry of agriculture). The agriculture in the region is rather diversified, with about 35% of the area dedicated to grain crops, mainly soft wheat (*Triticum aestivum*), barley (*Hordeum vulgare*), oilseed rape (*Brassica napus*) and maize (*Zea mays*), 30% used for beef livestock, and 20% for mixed crop-livestock farming. The remaining 15% are used for a range of agricultural crops, including vineyards that are mostly concentrated on a thin North–South strip separating uplands and lowlands in the south of the region. The climate is semi-continental, with rather cold winters (average temperature in January ranging from 0 to 3 °C), and rather warm summers (average temperature in July ranging from 17 to 20.5 °C). Temperatures are colder in the uplands of the center and the south-western parts of region, and warmer in the lowlands of the south-eastern areas. The average rainfall ranges from 650 to 1000 mm, are also correlated with the altitude, which mostly ranges from 160 to 600 m for agricultural areas. Farms producing arable crops only are mainly located in the northern and eastern parts of the region, either in uplands with shallow clay–limestone soils and low water storage capacity (WSC, often below 50 mm) or in lowlands of the northern and eastern part of the region, where soils are deeper, with mainly clay–loam or loamy textures, and WSC higher than 100 mm. Beef cattle is located in uplands of the south-western part of the region, associated with permanent grasslands, while mixed farming can be found in most districts but only with a low proportion of farms. Association of arable crops with chicken farming is typical of the small ‘Bresse’ district in the south of the region, where soils are either clayey or sandy.

### 2.2. Data on cropping systems: crop sequences and associated crop management

Surveys of cropping practices in the Burgundy region were carried out in 2006 by the Department of Statistics and Forecasting of the French Ministry of Agriculture. The surveys were focused on arable crops, and therefore, did not consider fields either with permanent pastures or vineyards. The data describe crop sequences over a 6-year period (2001–2006) and crop management from the harvesting of the previous crop to the harvesting of the main crop in year 2006 for 795 field plots from 709 different farms. Crops harvested in 2006 were winter wheat, winter and spring barley, maize and oilseed rape. The variables chosen to describe both cropping systems and production situations were selected according to (i) their relevance, (ii) their availability, (iii) the number of missing data, and (iv) the data variability throughout the dataset. Nine variables were used to describe crop management plans ([Table 1](#)), namely the sowing date, the tillage type (mould-board ploughing vs. shallow cultivations only), use of mechanical weeding, amount of nitrogen (N) fertilization, and amount of pesticides used (herbicide, fungicide, insecticide and others) expressed by the treatment frequency index (TFI) which gives the number of treatments equivalent to full rates and full field application (see for example [Gravesen, 2003](#)). The nature of the previous crop was considered as a factor potentially explaining differences in crop management sequences.

### 2.3. Data on production situations: soil, farm structure, climate, pests

The IGCS database (*Inventaire, Gestion et Conservation des Sols*; Inventory, Management and Soil Conservation) was used to provide information on soil characteristics, i.e., soil depth, soil texture, limestone content, abundance of coarse fragments, and average water storage capacity (WSC). Each field was associated to soil properties of the most represented soil type in the most repre-



**Fig. 1.** Connections between the farmer, the components of the production situation and the cropping system. The farmer uses his own knowledge to design the cropping system according to his perception of the production situation, the performance of the technical options, and the farming context.

sented soil map unit in the corresponding village district. Records from weather stations in Burgundy over 23 years (1987–2010) were used to describe the climate: rainfall data (annual, spring, summer, autumn, winter) were obtained from a network of 186 stations; average, minimum and maximum temperatures (annual, spring, summer, autumn, winter) were obtained from a network of 85 stations (Moisselin et al., 2002). At each site, the data from the closest available weather station were used.

The Department of Statistics and Forecasting of the French Ministry of Agriculture also provided information about field size, farm size, and the nature of livestock production on the farm (beef or dairy cattle, poultry, pigs etc.), when relevant.

We attempted to compute a pest pressure level for each surveyed field from monthly agricultural warning bulletins (French Ministry of Agriculture) that provided information on local variation in pest pressure for 2006 (i.e., the year of crop management data). The main warnings issued during the growing season in the different agricultural areas were identified for each crop and synthesized on a four-level scale: absence of warning; low, medium and high level of risk. The main pests considered in this risk assessment were those with potential large scale dissemination, namely *Septoria tritici* blotch for wheat, corn borer (*Ostrinia nubilalis*) for maize, and pollen beetle (*Meligethes aeneus*), brassica pod midge (*Dasineura brassicae*), and winter stem weevil (*Ceutorhynchus picipitarsis*) for oilseed rape. Unfortunately, the spatial distribution of pest pressure for a given crop was highly correlated with the

spatial distribution of this crop, indicating very little variation in pest pressure for a given crop throughout the region during this particular year, and no information available in areas where the crop is not grown. In the end, this 'pest pressure' indicator conveyed too little information, and was removed from the analysis.

30 variables, either quantitative or qualitative, were available to describe PS. Correlations between all those variables were studied ('Cor' function of the R software) and redundant variables were removed. For example, average temperatures during spring, summer, autumn and winter were highly correlated ( $R^2$  coefficient ranging 0.68–0.94), so that the average yearly temperature only was used as the descriptor of the average temperatures. The rainfalls across seasons were also highly correlated ( $R^2$  coefficient ranging 0.73–0.80), and (not surprisingly) soil depth and soil WSC were partly redundant ( $R^2$  coefficient = 0.58). Finally, after removing redundant variables, each PS was characterized by nine variables (Table 1) describing the weather (minimum winter temperature, annual rain), the soil (texture, WSC, limestone content) and the farm characteristics (farm size, field size, type of livestock, if any).

#### 2.4. Data analysis

##### 2.4.1. Typology of cropping systems

Maton et al. (2005) identified two main families of methods to create typologies: (i) the "positivist methods" are based on

**Table 1**  
Variables describing crop management and production situations.

Crop management		Production situation	
Describing variables	Range	Describing variables	Range
Winter wheat sowing date	15 Sept.–30 Nov.	Annual rainfall	646–1084 mm
Winter barley sowing date	15 Sept.–15 Dec.	Mean annual temperature	9.6–12.3 °C
Spring barley sowing date	15 Feb.–30 Apr.	Min winter temperature	–0.6–3.3 °C
Oilseed rape sowing date	01 Aug.–30 Sept.	Soil texture	Sand/sandy loam/clay loam/clay
Maize sowing date	01 Apr.–30 Jun		
Tillage	Ploughing vs. shallow cultivation	Limestone content (effervescence level)	Qualitative note [0–4]
Mechanical weeding	Yes vs. No	Water storage capacity (WSC)	12–194 mm
Treatment frequency index			
TFI-herbicide	0–4.6	Field size	0.2–63 ha
TFI-fungicide	0–3.2	Farm size	2.1–67 ha
TFI-insecticide	0–8.2	Farm type	Arable crops only/beef cattle/dairy cattle/mixed farming
TFI-others	0–0.6		
Amount of N fertilization (mineral and organic N)	0–465 kg ha <sup>-1</sup>		
Previous crop			

statistical analyzes of data sets without any prior knowledge (Mignolet et al., 2007; Köbrich et al., 2003) whereas in (ii) the “constructivist methods”, types are defined from assumptions based on expert knowledge and then validated by surveys (Perrot and Landais, 1993; Landais, 1998; Girard et al., 2001). Multivariate analyzes, including principal component analysis (PCA) and multiple component analysis (MCA), usually associated with hierarchical cluster analysis (HC), are the most frequently used ‘positivist’ methods (Bürger et al., 2012; Mignolet et al., 2007). In this study, a typology of CS was created to organize the complex information available about the diverse crop sequences and crop management. We defined groups of crop management systems for winter wheat, winter and spring barley, oilseed rape and maize using multiple correspondence analysis (MCA) and ascendant hierarchical classification (AHC, Ward’s method; Ward, 1963). For each crop, the classification defined three groups of management systems, roughly corresponding to three input levels (see Section 3). The number of clusters was chosen based on the analysis of the inertia gains. The ward method suggested a cutting level defining three clusters corresponding to the highest inertia gain (Ward, 1963).

Six-year crop sequence patterns were explored using the data-mining software ‘Teruti-Miner’ (Le Ber et al., 2006). This software is based on simple counting of each two-year or three-year sequence pattern in each six-year sequence. It was useful to identify and sort the most frequent crop sequence patterns in the data set (mainly oilseed rape/winter wheat/winter barley and maize monoculture). The other more diversified crop sequences (all of them including winter cereals) were classified according to the presence of diversifying crops, namely (i) temporary pasture, (ii) maize, (iii) peas, and (iv) sunflower. The remaining sequences (less than 5%, usually including sugar beet and/or legume crops other than peas) were classified as ‘complex crop sequences’.

A CS type was defined as a combination of a crop sequence type with a crop management type (i.e., input level). As only one year (2006) was actually described for crop management, the combination of crop sequence types with crop management types was based on the hypothesis that the input levels for a given cropping system would be the same for successive years throughout the crop sequence. We chose not to distinguish different input levels for crop sequences that were less frequent (e.g., maize monoculture and pasture-based systems).

#### 2.4.2. Describing the diversity of production situations

A ‘Hill and Smith’ analysis (Hill and Smith, 1976) was carried out using the nine variables describing PS. This method is usually used for multivariate analysis when the studied population is described with mixed quantitative variables and qualitative factors. It made it possible to describe the structure of the PS variables across the 795 field plots.

#### 2.4.3. Relationship between production situations and cropping systems

A classification and regression tree (CART) method was used to identify the components of the production situations which determine CS. The CART method aims at building a tree-based regression or classification model, by recursively partitioning the data into groups so as to minimize variability within a group, while maximizing variability between groups (Breiman et al., 1984). The CART method produced a partitioning of PS that best discriminated the cropping systems.

All multivariate analyzes were performed with the R ‘FactoMineR’ and ‘Ade4’ packages. The R ‘rpart’ package (method = ‘class’) was used for classification trees.

#### 2.5. Expert knowledge

Results were compared to the local expert knowledge of four farm advisers and one farmer representing five different districts covering the diversity of agriculture in Burgundy. All of them are involved in the extension of integrated pest management-based cropping systems, and are therefore, familiar with the concept of cropping system and with the diversity in agricultural practices in the area. They were asked to react and provide their expert validation of (i) the typology of PS that we obtained from the statistical analysis, (ii) the geographical distribution of each PS type (data not shown), and (iii) of the diversity of cropping systems most frequently observed within each PS type.

### 3. Results

#### 3.1. Typology of cropping systems (crop sequences and management plans)

Winter cereals were the most cultivated crops over the 2001–2006 period in the surveyed fields (47%, see Table 2). The analysis of triplets of successive crops (see the crop codes in Table 2 and Table 3) among the 795 crop sequences showed that the triplets OR–WW–WB; WB–OR–WW and WW–WB–OR were the most frequent (16%). Crop sequences with the exact OR/WW/WB pattern (OR–WW–WB–OR–WW–WB) and crop sequences with approximate OR/WW/WB pattern (e.g., OR–WW–WB–OR–WW–WW or sequences where either WW or WB was replaced by another winter cereal, e.g., oats, triticale) formed the first dominant group in Burgundy (Group 1, 51.4%, see Table 3).

Crop sequences involving maize included maize grown in sequences with winter cereals and maize monoculture. 20.4% of surveyed fields were associated with crop sequences based on both maize and winter cereals, but this group included patterns dominated by winter cereals (e.g., WW–WW–M–WW–WB–M), patterns dominated by maize (e.g., M–M–WW–M–M–M) and other crop sequences where maize and cereals had similar frequencies (e.g., WW–M–WW–M–O–M). Maize monoculture was less frequent (2.6%; Group 5, Table 3).

Crop sequences including pastures represented 11.5% of the dataset (Table 2). Temporary pasture was associated with maize and/or winter cereals and/or oilseed rape (Group 4, Table 3).

The other main diversifying crops were sunflower and pea, which together represented 3.2% of the crops grown in the surveyed fields during the considered period. These crops were mostly associated with oilseed rape and winter cereals, and the corresponding crop sequences represented 15.7% of the dataset (Group 3, Table 3).

The other types of crop sequences were less frequent. These included sequences with sugar beet (Group 6, Table 3) and diversified crop sequences (Group 7, Table 3) involving legume crops other than pea (e.g., faba bean, lens) or patterns involving at least three starter crops not classified in the other groups (e.g., crop sequences with oilseed rape, maize and sunflower).

**Table 2**  
Frequency of cultivated species in the surveyed fields over the period of 2001–2006.

Species	%
Winter wheat (WW)	28.3
Winter barley (WB)	18.4
Oilseed rape (OR)	17.4
Temporary pasture (TP)	11.4
Maize (M)	10.1
Sunflower (S)	2.4
Other pasture (OP)	0.9
Pea (P)	0.8
Others	10.2

**Table 3**  
Distribution of crop sequences types in Burgundy.

Group	Crop sequence types	Examples	Frequency
1	Oilseed rape/winter wheat/winter barley; winter cereals	OR-WW-WB-OR-WW-WB; WB-OR-WW-WW-WB-OR; O-WW-WB-O-WW-WB	51.4%
2	Crop sequences based on maize and winter cereals	WW-WW-M-WW-WB-M; M-M-WW-M-M-M; WW-M-WW-M-O-M	20.4%
3	Oilseed rape/winter cereals/sunflower or peas	WW-OR-WW-S-WW-OR; OR-WW-WB-P-WW-WB	15.7%
4	Pasture associated with maize, winter cereals and oilseed rape	TP-TP-TP-M-M-WW; TP-TP-TP-TP-M-M; TP-TP-TP-WB-WB-OR	5.4%
5	Maize monoculture	M-M-M-M-M-M	2.6%
6	Crop sequences with sugar beet	WW-Sb-WW-Sb-WW-Sb	2.5%
7	Diversified crop sequences	WW-WB-WB-F-WW-WB; S-WW-OR-WW-M-WB	1.9%

WW (winter wheat); WB (winter barley); S (sunflower); TP (temporary pasture); OR (oilseed rape); M (maize); Sb (sugar beet); O (oat), F (faba bean); P (peas).

Multivariate analysis (MCA and HCA) carried out for wheat, barley, oilseed rape and maize separately revealed three types of crop management. E.g., for winter wheat (225 fields), the two first dimensions of the MCA performed on the six variables describing winter wheat management plans, summarized 25.5% of the total inertia (Fig. 2A). On one side, the low amount of nitrogen input was associated with late sowings, limited use of herbicides (low TFI-H), and ploughing before wheat seeding. On the other side, a large amount of nitrogen fertilization was associated with normal sowing dates, high levels of fungicides (high TFI-F) and other pesticides such as molluscicides (high TFI-others), and to a lesser extent with high herbicide inputs (high TFI-H). This distribution of management variables, therefore, supported the hypothesis of crop management consistency, stating that the different components of the crop management plan are defined so as to get an overall coherence of the system. The clustering analysis (Fig 2B) performed on the MCA allowed the differentiation of three groups of crop management systems according to 3 levels of pesticide (Fig. 3) and fertilizer use: (i) high level of pesticide and fertilizer use without ploughing; (ii) low inputs with ploughing and (iii) a medium level of inputs. Similar results were obtained for winter and spring barley, maize and oilseed rape (data not shown). In maize, the cluster corresponding to low input management included the few fields managed with mechanical weeding.

Combining crop sequence types with crop management clusters resulted in 21 CS groups. For the most represented crop sequences, each crop sequence corresponded to three types of CS, with low, medium and high input levels, respectively.

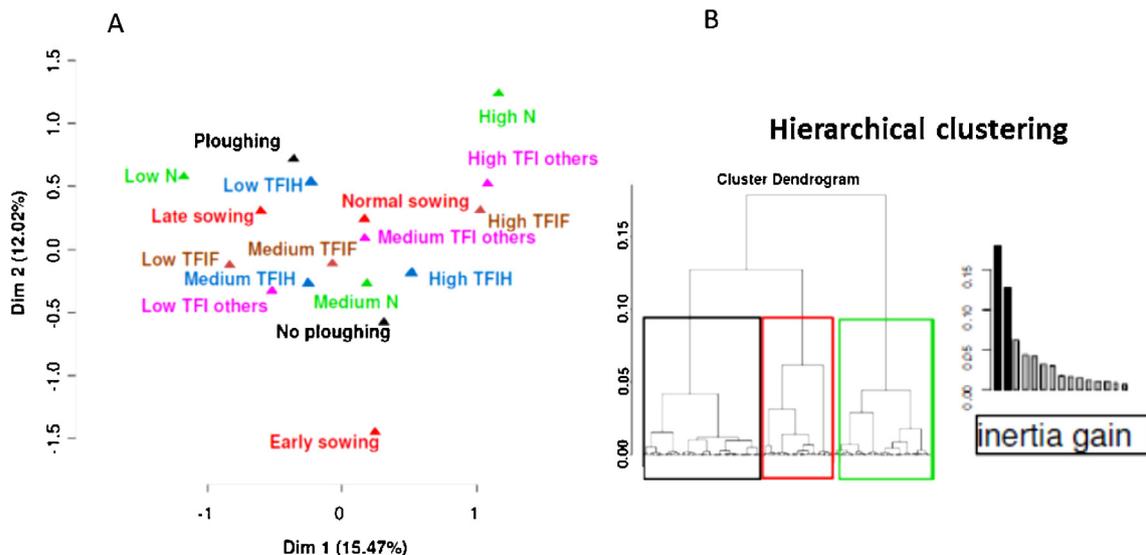
### 3.2. Diversity of Production Situations

The first two axes of the Hill & Smith analysis explained 27% of the variance (Fig 4). Variables describing the soil (WSC, limestone content, texture) as well as the average annual temperature and the type of livestock (none/beef cattle/dairy farming/mixed farming) significantly contributed to the first two axes. The absence of limestone in the soil was associated with sandy and loamy textures, and high clay content, often correlated with shallow soils in the area, was clearly associated with low WSC and low average temperature. Farms producing arable crops only and mixed farms (arable crops and livestock) were associated predominantly with large farm size, large field size, and clayey soils.

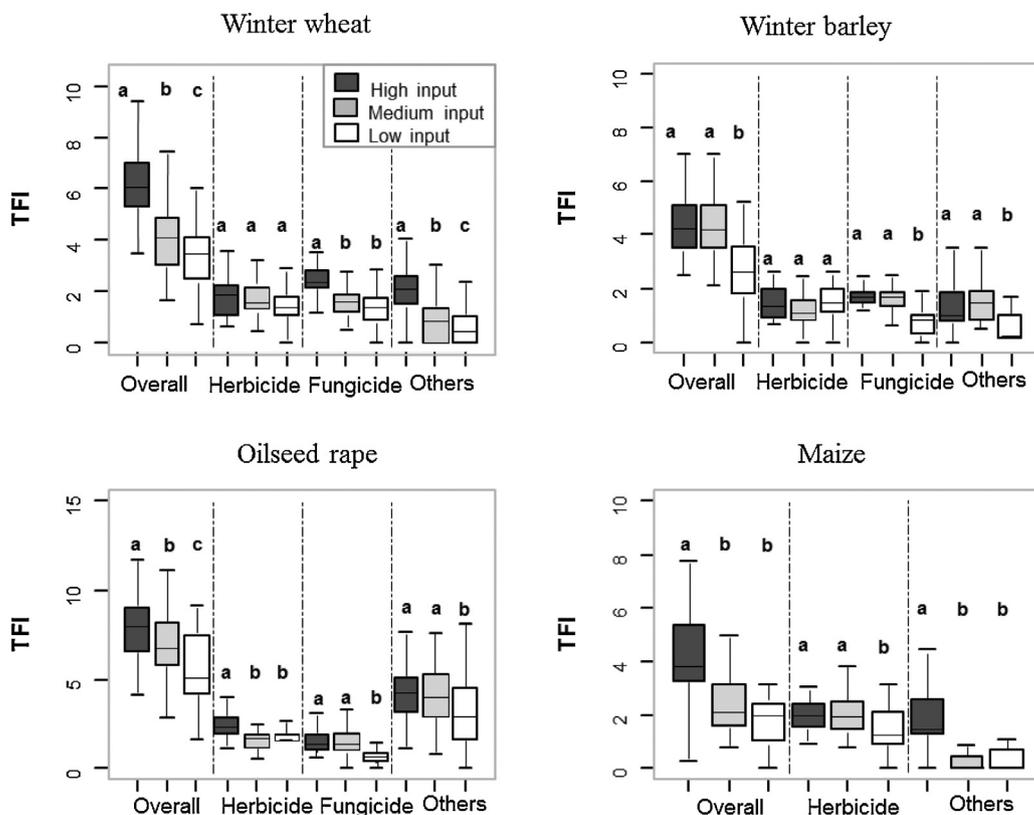
### 3.3. Analysing the relationship between cropping systems and production situations: classification and regression trees

The classification and regression trees aimed to explain the frequency of the various CS types by the variables describing the PS, and therefore, to identify the components of PS that drive the main features of CS (Fig. 5).

The first node of the tree segregated CS that were not associated with livestock from CS in farms with either beef cattle or dairy production. The first group was then split according to the average annual temperature. CS based on maize monoculture and diversified CS including legume crops were more frequent in areas with high temperature (Annual temperature  $\geq 12^\circ\text{C}$ ) (PS-group #4). The third PS variable that determined CS features was the soil water storage capacity (WSC). High WSC ( $\text{WSC} \geq 144\text{ mm}$ ) was frequently



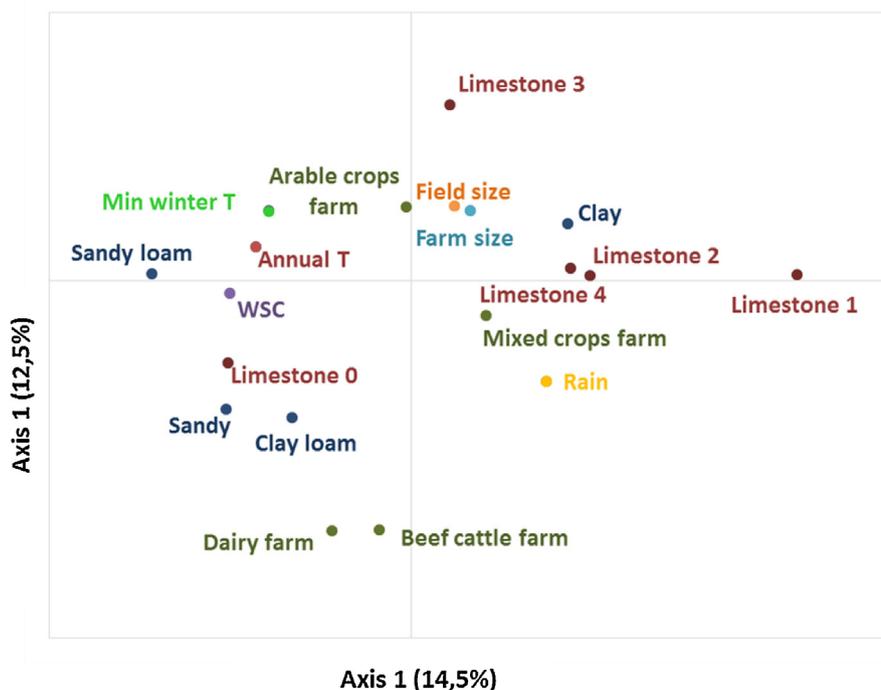
**Fig. 2.** Multivariate analysis on 225 fields (from 205 farms) for variables describing winter wheat management: A) multiple component analysis; B) hierarchical analysis on MCA. TFI: treatment frequency index. TFIH: TFI for herbicides. TFI-F: TFI for fungicides. TFI others: TFI for other types of pesticides.



**Fig. 3.** Variability of pesticide and nitrogen use in the three clusters for winter wheat, winter barley, maize and oilseed rape. For a given pesticide type, TFI distributions are significantly different if associated with a different letter (Wilcoxon test,  $p = 0.05$ ). Outliers were deleted to match with the French legislation on statistical confidentiality, but were included in the analysis.

associated with diversified cropping systems based on peas or sunflower (PS-group #3). Cropping systems based on the OR/WW/WB crop rotation were present in nearly all PS types but were mainly dominant in situations with low WSC (PS-group #1 and #2). The

field size appeared to be related to the level of intensification, as small fields (PS-group #2, below 9.6 ha) were more frequently associated with low inputs in CS based on a OR/WW/WB crop rotation than larger fields (PS-group #1). The group of PS with beef



**Fig. 4.** Hill & Smith analysis on PS variables for the 761 fields. Limestone 0–4 are for increasing classes of limestone content.

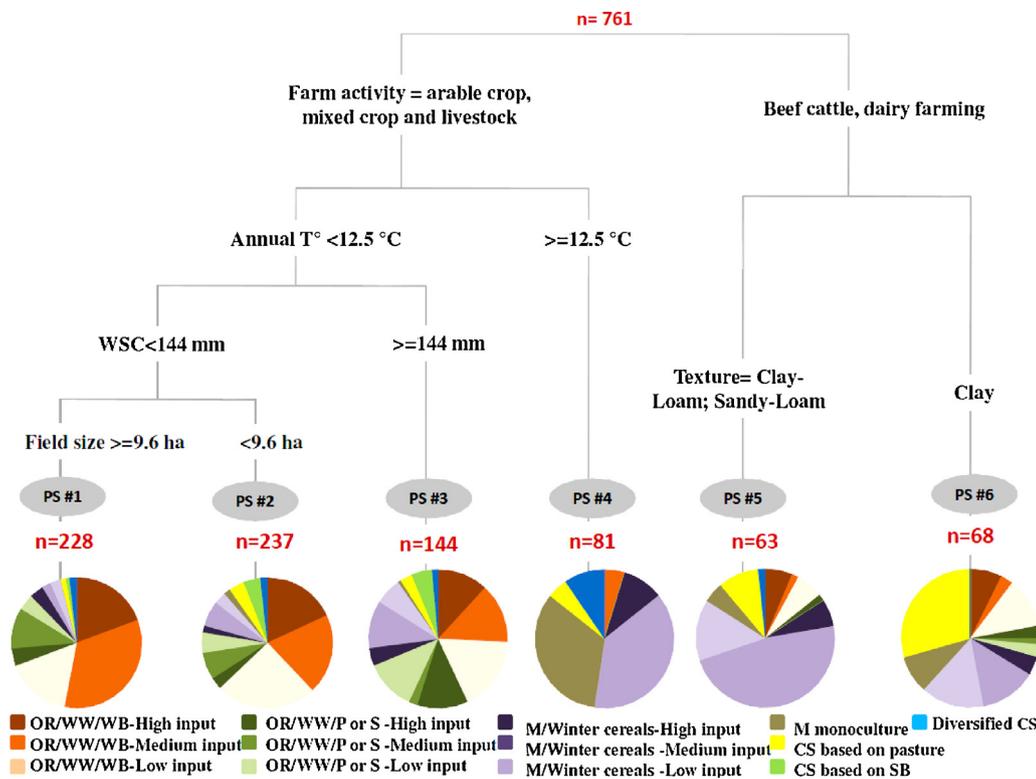


Fig. 5. Regression tree model describing the CS frequency as a function of the variables describing production situations.

cattle and dairy farms was split according to soil texture: clay soils were more frequently associated with cropping systems including pastures (PS-group #6), whereas clay-silt soils and sandy loams were more frequently associated with systems including maize in crop rotations (PS-group #5). The proportion of low input cropping systems was higher in 'beef cattle' and dairy farms than in 'arable crops' farm, both for cropping systems based on the OSR/WW/WB rotation and for maize-based crop rotations.

The method of classification trees, therefore, led to six groups of PS with different proportions of the different types of cropping systems (Fig. 5). However, the diversity of CS type within each PS group remained high. The proportion of a given CS type never exceeded 48% within a given PS group (crop sequence based on maize and winter cereals in the group PS #5 of farms based on beef or dairy farming on clay-loam or sandy loam soils). In the group PS #3 (farms based on arable crops, sometimes mixed with livestock, in uplands with low temperatures but soils with high WSC), no CS type exceeded 20% and six CS type exceeded 10%.

#### 4. Discussion

##### 4.1. Choice of explanatory variables

A set of variables that were available and likely to explain part of the diversity in cropping systems was used to describe PS diversity, and we were careful to avoid redundancy (i.e., highly correlated variables). Some variables described the farm context, and particularly an indication of the nature of any associated livestock, as mixed crop-livestock farming is known to affect cultural practices and provide opportunities for crop diversification and reduction in the crop's reliance on external inputs (Schiere et al., 2001). The other variables mainly described the soil and the climate. Weather data sets can produce a huge number of descriptive variables with a high risk of redundancy, so we had to select some of them based on a correlation analysis (data not shown).

The regional soil database included information about the limestone content, a soil feature which is commonly used for differentiating soil types in the area. In our result, the limestone content indeed contributed significantly to the first axes of the Hill & Smith analysis. Nevertheless, the limestone content was not selected as a segmenting variable by the regression tree method, suggesting that either this variable indeed had limited impact on the cropping system design, or that it was correlated with other segmenting variables. Conversely, the mean annual temperature had a rather limited weight in the structure of the descriptive variables of PS, but it was the first one that was selected to discriminate cropping systems of farms based on cash crops (possibly mixed with livestock), segregating PS-group #4 from PS-groups #1, #2, and #3. Indeed PS-group #4 corresponded predominantly to maize-based cropping systems, either in crop rotations or in monoculture, and maize is known to be favored by warm temperature, both because warm spring temperatures result in rapid canopy closure, hence maximizing early solar radiation interception, and because warm temperatures throughout the growing period mean an early harvest, usually in good conditions.

##### 4.2. Cropping system drivers

To our knowledge it is the first time that the relationship between properties of the PS and the main features of CS has been clearly established for arable cropping in temperate climates. The results of the regression tree model (Fig. 5) agreed with local expertise about the structure of agriculture in Burgundy. Each expert found the results consistent with his/her own knowledge of the diversity of farms within the agricultural areas he/she was familiar with, even though experts also noted that the systems had slightly changed since 2006, with a trend for further simplification of crop rotations. According to their expertise this trend did not however, jeopardize the CS classification produced by our analysis. They provided some hypothesis tending to explain the agronomic

reasons for the observed relationships. As expected, the combination of animal husbandry with arable cropping was identified as the main factor influencing CS. Livestock feeding requires the growing of forage crops, mainly maize, temporary pastures or cereal crops in the area. The diversity of forage crops tends to widen the diversity in crop sequences, especially when forage crops and cash crops are mixed within a given CS. Clay soils might be difficult to till, particularly in the fall and in winter, which is why they could be more suited than loamy soils for pasture-based CS, including multi-annual crops, and therefore, a low frequency of soil tillage, or possibly for forage maize monoculture, as seeding maize in late spring may not require tillage during winter. Conversely, seeding winter cereals late in the fall after the maize harvest might be difficult in such clayey soils, and this might explain the rather low frequency of CS combining maize and winter cereals on clay soils in farms with animal husbandry. In farms without livestock, or mainly based on cash crops, the soil WSC was identified as a significant determining factor of CS. Soils with low WSC (that geographically correspond to the so-called 'plateau' area of the center of the region) were mainly cultivated with cropping systems based on winter cereals and oilseed rape only, i.e., winter crops with growing periods roughly matching the rainy seasons of late autumn, winter and early spring. On the other hand, land that is less prone to water shortage in the spring and summer due to a higher WSC allowed more diversified CS, introducing diversifying spring crops such as sunflower, spring barley or peas. Interestingly, in cool areas with scarce livestock and restricted WSC, the field size seemed to be related to the intensification level. Indeed, the proportion of low-input CS (either based on oilseed rape or just cereals, or including diversifying crops such as sunflower or peas) tended to be higher in relatively small fields than in larger ones, suggesting that areas where consolidation has been rapid in recent years, leading to large fields, are also areas where farmers adopted high-input intensive CS. Finally, the annual mean temperature was shown to significantly affect CS in farms that are not mainly based on livestock. Indeed, CS in the warm lowlands of the south of Burgundy are known to differ from systems in northern cooler areas, as crop sequences there are much more dominated by maize, which is often grown in monoculture in this area, unlike in other areas of Burgundy.

The diversity of CS within each identified group of PS remained high, indicating that all the determinants of cultural practices were not included in the analysis. The context of each CS might have been insufficiently described with the set of variables that were available. However, the results also suggested that the diversity of CS in a given type of PS might be related to the diversity of farmers, who have different objectives, different knowledge about the farm management, and different degrees of risk aversion etc. These considerations suggest that different pathways are possible for policies intended to drive European agriculture toward more sustainable practices. Policies could indeed aim to change the context of each farm, through regulations or incentives adapted precisely to the territorial diversity of each country, or promote the development of agroecological knowledge among farmers. Both pathways should probably be explored at the same time.

#### 4.3. Methodological reflexion on CS and PS

To our knowledge, relatively few articles report studies focusing on the diversity of PS and the impacts on CS, whether with a methodological approach or with other objectives. The few available studies analyzing the relationship between CS and PS rarely deal with the context of arable crops in temperate areas. In the particular context of pastures in montane farming in the Alps, [Camacho et al. \(2008\)](#) identified strong links between the spatial structure of the environmental conditions and the spatial distribution of

agricultural land use. In the tropical context of the West Indies, [Chopin and Blazy \(2013\)](#) analyzed the spatial variability in banana yield, and established the causal relationships between the physical and economic situations of the farms, the banana cropping systems and their performance. They identified the technical components of cropping systems that were related to high yields (e.g., chemical treatment against nematodes, ploughing) and studied the range of possible constraints that might limit the adoption of some crop management practices (e.g., steep slopes, small farm size, low cash flow). Very recently, a typology of maize-based cropping systems was established from surveys in the northern mountains of Vietnam, an area with a high diversity of farming situations ([Hauswirth, 2013](#)). The author characterized the drivers of the CS diversity by relating CS features with the farm context (district, mean farm size in the area and main crops, altitude etc.), farm types and field biophysical conditions. Those descriptive variables explained about 50% of the variability in cropping systems, hence suggesting that other drivers, including the specific history of the farmers and their personal objectives, could partly determine cropping practices.

One possible reason why the question of the relationship between CS and PS has rarely been addressed might be that it requires large datasets about cropping systems that are typically missing at the regional or national scale. Many studies dealing with cropping systems at the regional scale tend to simplify the concept of cropping system to its primary characteristic, i.e., the species grown ([Leenhardt et al., 2010](#)) or the crop rotation ([Castellazzi et al., 2007](#)). When the spatial distribution of cultural practices is required to analyze environmental issues at the regional scale, the information is usually restricted to land use at the field scale, distinguishing crop species or even crop groups such as winter cereals, temporary pastures etc. (e.g., [Verburg and Veldkamp, 2001](#); [Rounsevell et al., 2003](#)). The dataset we used in this study included information about crop sequences over 6 years, but provided the details of crop management only for the last year. For each of the four crop species we analyzed, a typology of crop management roughly corresponding to low/medium/high input levels was identified. We assumed that a cropping system with a certain input level in one crop of the sequence would have the same input level for the other crops. Based on this assumption we could use a typology of cropping systems that was defined by the type of crop sequence and its input level. The assumption seemed reasonable according to the expert knowledge of local farm advisers we interviewed, but it should be tested with a proper dataset describing a wide range of different CS at the regional or national scale, including details of crop management for the whole crop sequence. To our knowledge, such a data set does not currently exist in France, although the DEPHY-farm network, that was launched two years ago by the French Ministry of Agriculture with the aim of demonstrating CS with low pesticide use, should soon provide such valuable data at the CS level.

## 5. Conclusion

This study deals with (i) the diversity of cropping systems in a given region, (ii) the diversity of production situations, and focuses on (iii) the relationship between cropping systems and production situations at the regional scale. The use of data provided by the Department of Agricultural Statistics mixed with data from soil and weather databases made it possible to characterize the context of agriculture and the diversity of cropping systems. The use of the regression tree model succeeded in identifying key features of the agricultural context that appeared as drivers determining the diversity of agricultural practices within the studied region. Some identified drivers were not surprising, such as the mixed farming with cattle breeding that impacts the nature of crop grown. It was however, worth highlighting other drivers, such as the soil

properties that tend to impact the diversity of cropping systems and the input level. The diversity of cropping systems varied across production situation types in Burgundy, but remained high within each type, emphasizing the potential scope for farmers in this region to adapt their practices as a function of their own preferences

From a practical point of view, recognizing the significance of major factors of the farming context influencing cropping systems does not imply that there would be no room for agricultural changes to improve sustainability. However, it is important for policy makers to consider the diversity of production situations when anticipating the consequences of policies aiming at fostering more sustainable cropping systems. The next step to evaluate the potential for changing cultural practices in the Burgundy region could be to explore different scenarios of innovative cropping systems for each production situation that we identified in this study, evaluating the potential consequences of each alternative cropping systems for the different components of sustainability, including farmers' profit, but also social and environmental performances.

### Acknowledgments

This research was funded by the Burgundy Region and INRA (Institut National de la Recherche Agronomique). We thank the Department of Statistics and Forecasting of the French Ministry in charge of Agriculture. M. Benoît, T. Castel, V. Cellier, C. Mignolet, C. Schott, and M. Ubertosi contributed by providing data and tools. We are grateful to E. Bizot, M. Geloën, P. Farcy, M-S Petit, and A.Villard, who provided their valuable expertise about local farms and cropping system. We also thank L. Biju-Duval and F. Dessaint for their help for data analysis.

### References

- Aubertot, J.N., Robin, M.H., 2013. *Injury Profile SIMulator*, a qualitative aggregative modelling framework to predict crop injury profile as a function of cropping practices, and the abiotic and biotic environment. I. Conceptual bases. *PLoS One* 8, 1–12.
- Bakker, M.M., Sonneveld, M.P.W., Brookhuis, B., Kuhlman, T., 2013. Trends in soil–land-use relationships in The Netherlands between 1900 and 1990. *Agric. Ecosyst. Environ.* 181, 134–143.
- Blazy, J.M., Ozier-Lafontaine, H., Doré, T., Thomas, A., Wery, J., 2009. A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe. *Agric. Syst.* 101, 30–41.
- Boiffin, J., Malézieux, E., Picard, D., 2001. Cropping systems for the future. In: Nösberger, J., Geiger, H.H., Struik, P.C. (Eds.), *Crop Science. Progress and Prospects*. CAB International, Oxon, UK, pp. 261–280.
- Bowman, M.S., Zilberman, D., 2013. Economic factors affecting diversified farming systems. *Ecol. Soc.* 18 (1), 33.
- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., Stone, C.J., 1984. *Classification and regression trees*. Wadsworth, CA.
- Breman, H., de Wit, C.T., 1983. Rangeland productivity and exploitation in the Sahel. *Science* 221, 1341–1347.
- Bürger, J., Günther, A., de Mol, F., Gerowitt, B., 2012. Analysing the influence of crop management on pesticide use intensity while controlling for external sources of variability with linear mixed effects models. *Agric. Syst.* 111, 13–22.
- Camacho, O., Dobremez, L., Capillon, A., 2008. Shrub encroachment in pastures in the Alps. *J. Alp. Res.* 96, 89–100.
- Cardona, A., Lamine, C., Hochereau, F., 2012. Mobilisations et animations autour des réductions d'intrants: stratégies d'intéressement des agriculteurs dans trois territoires franciliens. *Rev. d'Etud. Agric. Environ.* 93, 49–70.
- Castellazzi, M.S., Perry, J.N., Colbach, N., Monod, H., Adamczyk, K., Viaud, V., Conrad, K.F., 2007. New measures and tests of temporal and spatial pattern of crops in agricultural landscapes. *Agric. Ecosyst. Environ.* 118, 339–349.
- Chopin, P., Blazy, J.M., 2013. Assessment of regional variability in crop yields with spatial autocorrelation banana farms and policy implications in Martinique. *Agric. Ecosyst. Environ.* 18, 12–21.
- FAO, 1996. *Agro-ecological zoning. Guidelines*. FAO Soils Bulletin, 73. FAO, Rome.
- Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., et al., 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478, 337–342.
- Girard, N., Bellon, S., Hubert, B., Lardon, S., Moulin, C.H., Osty, P.L., 2001. Categorising combinations of farmers' land use practices: an approach based on examples of sheep farms in the south of France. *Agron. Sustain. Dev.* 21, 435–459.
- Godwin, R.J., Spoor, G., 1977. Soil factors influencing work-days. *Agric. Eng.* 32, 87–90.
- Gravesen, L., 2003. The treatment frequency index—an indicator for pesticide use and dependency as well as overall load on the environment. In: *Reducing Pesticide Dependency in Europe to Protect Health, Environment and Biodiversity*, Copenhagen Pesticides Action Network Europe (PAN), Pure Conference.
- Hauswirth, D., 2013. Evaluation agro- économique ex-ante de systèmes de culture en agriculture familiale: Le cas de l'agriculture de conservation en zone tropicale humide de montagne (Nord Vietnam). Thèse de doctorat. Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques Montpellier.
- Hill, M.O., Smith, A.J.E., 1976. Principal component analysis of taxonomic data with multi-state discrete characters. *Taxon* 25, 249–255.
- Köbrich, C., Rehman, T., Khan, M., 2003. Typification of farming systems for constructing representative farm models: two illustrations of the application of multi-variate analyses in Chile and Pakistan. *Agric. Syst.* 76, 141–157.
- Landais, E., 1998. Modelling farm diversity new approaches to typology building in France. *Agric. Syst.* 58, 505–527.
- Le Ber, F., Benoît, M., Schott, C., Mari, J.F., Mignolet, C., 2006. Studying crop sequences with CarrotAge: a HMM-based data mining software. *Ecol. Model.* 191, 170–185.
- Leenhardt, D., Angevib, F., Biarnès, A., Colbach, N., Mignolet, C., 2010. Describing and locating cropping systems on a regional scale: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 30, 131–138.
- Maton, L., Leenhardt, D., Goulard, M., Bergez, J.E., 2005. Assessing the irrigation strategies over a wide geographical area from structural data about farming systems. *Agric. Syst.* 86, 293–311.
- Meynard, J.M., Doré, T., Lucas, P., 2003. Agronomic approach: cropping systems and plant diseases. *C. R. Biol.* 326, 37–46.
- Mignolet, C., Schott, C., Benoît, M., 2007. Spatial dynamics of farming practices in the Seine basin: methods for agronomic approaches on a regional scale. *Sci. Total Environ.* 375, 13–32.
- Moisselin, J.M., Schneider, M., Canellas, C., 2002. Climate change over France during the 20th century: a study of long-term homogenized data of temperature and rainfall. *Météorologie* 38, 45–56.
- Olesen, J.E., Bindi, M., 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity: land use and policy. *Eur. J. Agron.* 16, 239–262.
- Perrot, C., Landais, E., et al., 1993. Research into typological methods for farm analysis. In: Brossier, J. (Ed.), *The why and wherefore. Systemes Studies in Agriculture and Rural Development*. INRA éditions, Paris, France, pp. 38–373.
- Rounsevell, M.D.A., Annetts, J.E., Audsley, E., Mayr, T., Reginster, I., 2003. Modelling the spatial distribution of agricultural land use at the regional scale. *Agric. Ecosyst. Environ.* 95, 465–479.
- Savary, S., Willocquet, L., 2000. Rice pest constraints in Tropical Asia: quantification of yield losses due to rice pests in a range of production situations. *Plant Dis.* 84, 357–369.
- Schiere, J.B., Ibrahim, M.N.M., van Keulen, H., 2001. Sustainability through mixed crop–livestock farming. A review of definitions criteria and scenario studies under varying resource fluxes. *Agric. Ecosyst. Environ.* 90, 139–153.
- Sebillotte, M., 1990. Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In: Combe, L., Picard, D. (Eds.), *Un Point sur les Systèmes de Culture*. INRA éditions, Paris, pp. 165–196.
- Verburg, P.H., Veldkamp, A., 2001. The role of spatially explicit models in land-use change research: a case study for cropping patterns in China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 85, 177–190.
- Ward, J.H., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J. Am. Statist. Assoc.* 58, 236–244.
- Willocquet, L., Aubertot, J.N., Lebard, S., Robert, C., Lannou, C., Savary, S., 2008. Simulating multiple pest damage in varying winter wheat production situations. *Field Crops Res.* 107, 12–28.

### **II.3. Compléments méthodologiques et analyse de données supplémentaires pour caractériser les systèmes de culture et les situations de production en Bourgogne**

Dans cette partie on traitera de la caractérisation des itinéraires techniques sur les principales cultures en Bourgogne, de la spatialisation de certaines variables clefs du milieu et des systèmes de culture, des méthodes pour aboutir à un croisement entre types de systèmes de culture et situations de production, et enfin de la confrontation de ces typologies issues des analyses statistiques au découpage en régions agricoles de la Bourgogne.

#### **II.3.1. Les itinéraires techniques des principales cultures en Bourgogne**

Dans la première partie du chapitre on a présenté l'analyse des itinéraires techniques sur le blé d'hiver avec un effectif de 225 parcelles. Les variables retenues concernent la date de semis, le labour ou le non labour, la fertilisation azotée, les IFTs, le recours au désherbage mécanique. Pour traiter ces données nous avons eu recours aux analyses de correspondance multiple (ACM). Ce type d'analyse requiert la transformation des variables quantitatives (IFT des différents types de pesticides, quantité d'azote apportée et date de semis) en classes. La définition des seuils pour chaque variable a été réalisée en analysant leur distribution. Les seuils choisis sont présentés en Annexe 1 et 2.

Le traitement de ces données par analyse factorielle de correspondance multiple (programme R) montre clairement trois groupes de combinaisons de techniques qui se discriminent principalement par un usage plus ou moins important d'intrants (cf. Fig 2.A de l'article). La disposition en croissant assez classique en analyse factorielle multiple sur les deux premiers axes montre une liaison quasi linéaire (Benzecri et al, 1980) entre certaines variables au premier rang desquelles on trouve l'azote et les produits phytosanitaires. La classification hiérarchique (Fig 2.B de l'article) distingue bien ces trois types qui s'orientent sur un axe d'intensification.

L'analyse des autres cultures disponibles dans les données SSP (orge d'hiver, orge de printemps, colza, maïs) pour lesquelles sont retenues les mêmes types de variables et les mêmes traitements statistiques conduit à des résultats similaires avec cependant des combinaisons de variables influentes différentes :

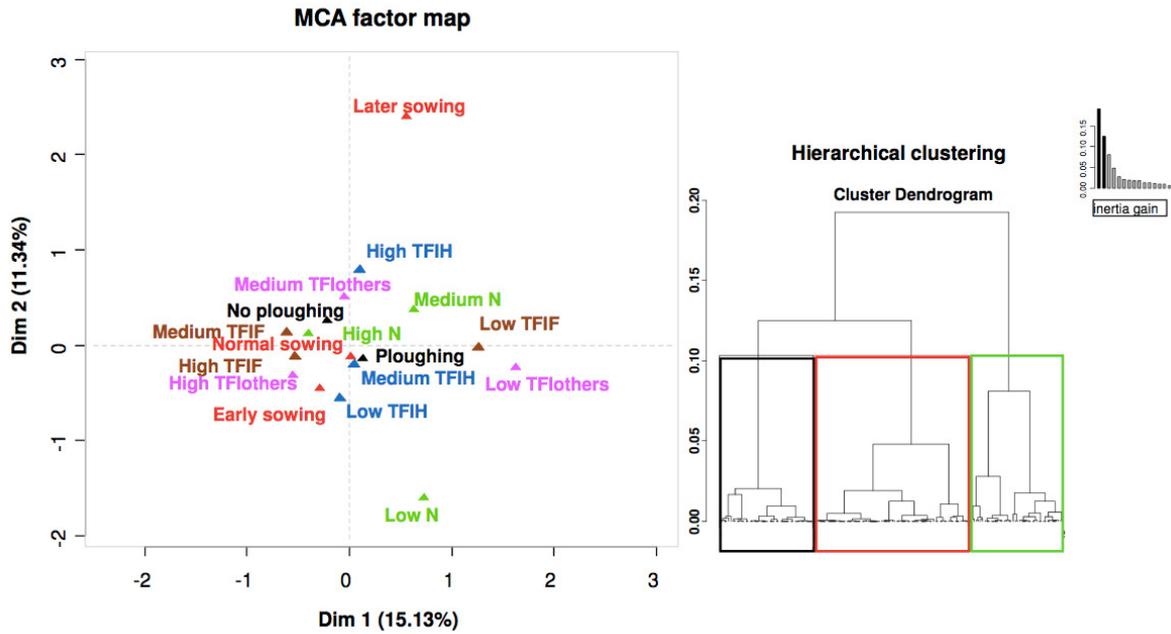


Figure 2. Analyse de correspondance multiple et classification hiérarchique sur les variables décrivant l’itinéraire technique de l’Orge d’hiver (160 individus)

Pour l’orge d’hiver (Figure 2) le premier axe oppose des situations à IFTs élevés et faibles sauf pour les traitements herbicides qui structurent le deuxième axe conjointement à des fertilisations azotées croissantes (opposition entre les faibles quantités et les autres) et à des dates de semis. Les semis les plus précoces sont associés à une faible intensité de désherbage chimique. Le non labour est plutôt associé à des forts IFTs et des niveaux de fertilisation azotée élevée. Comme pour le blé d’hiver, trois classes d’intensification d’itinéraires techniques sont mises en évidence.

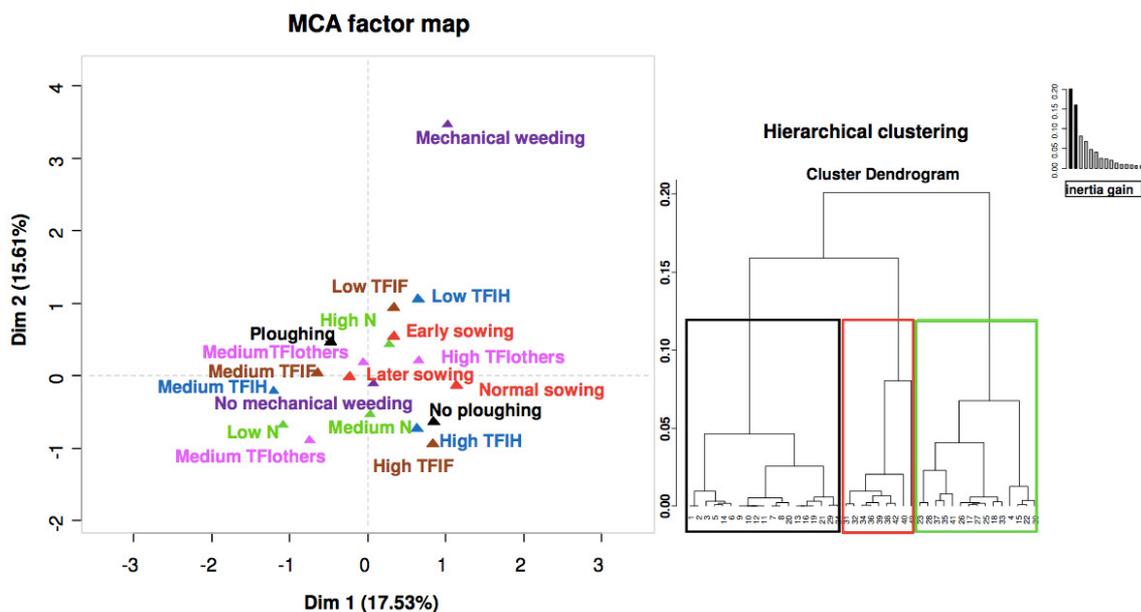


Figure 3. Analyse de correspondance multiple et classification hiérarchique sur les variables décrivant l’itinéraire technique de l’orge de printemps (43 individus)

Pour l'orge de printemps (Figure 3) l'axe 1 correspond à des IFTs croissants, le non labour est associé aux valeurs fortes de cet indice. Les niveaux de fertilisation azotée sont peu discriminants. Le labour a une position particulière sur le deuxième axe, avec cependant un nombre restreint de parcelles pour cette technique. Trois groupes se distinguent significativement, avec un effectif plus faible pour le groupe central des itinéraires techniques de niveau d'intensification intermédiaire (9 itinéraires techniques sur 43).

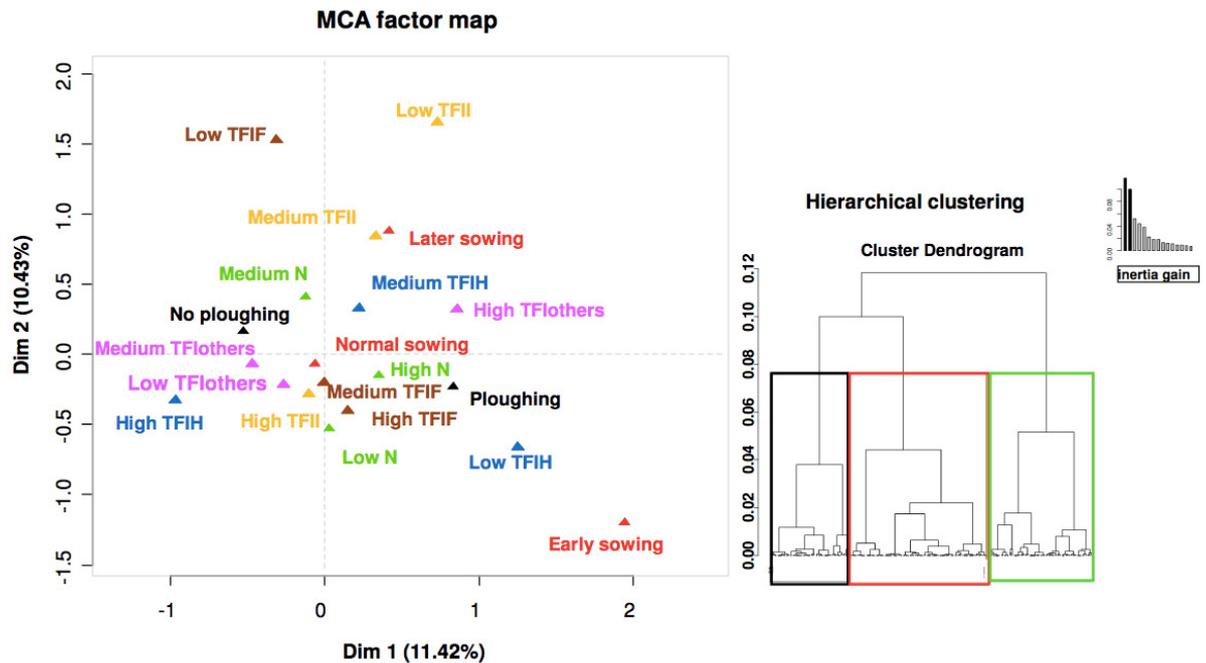


Figure 4. Analyse de correspondance multiple et classification hiérarchique sur les variables décrivant l'itinéraire technique du colza (229 individus)

L'analyse sur le colza (Figure 4) montre l'importance du gradient des IFT herbicides sur le premier axe qui est associé aux modalités de travail du sol. Les situations non labourées sont aussi celles qui utilisent un nombre de traitements herbicides plus élevés. On note une liaison entre les dates de semis précoce et le recours au labour. Ce n'est que sur le deuxième axe et de façon relativement indépendante aux variables déjà citées qu'apparaît un gradient de fertilisation azotée. Trois groupes ressortent après la classification automatique qui combine ces variables influentes.

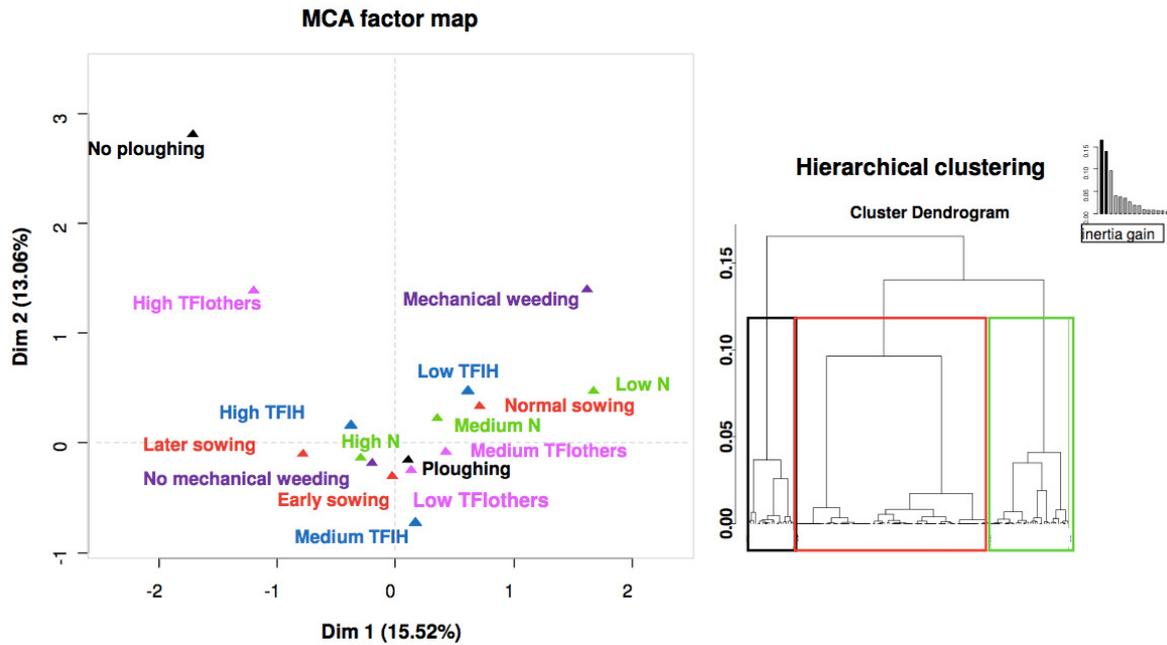


Figure 5. Analyse de correspondance multiple et classification hiérarchique sur les variables décrivant l'itinéraire technique du maïs (137 individus)

Pour le maïs (Figure 5), la structuration des variables de droite à gauche selon le premier axe montre une corrélation positive entre la fertilisation azotée et les différents IFTs. C'est pour les niveaux d'intrants faibles que l'on trouve quelques situations (révélées aussi par l'axe 2) où on a recours au désherbage mécanique. Les niveaux d'intrants élevés peuvent être associés à des parcelles non labourées. Trois groupes d'effectifs inégaux sont issus de la classification automatique révélant un gradient d'intrants. La majorité des situations se trouvent dans la classe intermédiaire.

Tableau 3. Effectifs des types d'itinéraires techniques pour les différentes cultures concernées par les enquêtes « Pratiques culturales » 2006

Culture	Effectifs	Effectifs	Effectifs fort	Effectif total
	faible intrant	intrant intermédiaire	intrant	
Blé tendre d'hiver	82	71	72	<b>225</b>
Colza	26	98	78	<b>229</b>
Orge d'hiver	43	68	49	<b>160</b>
Orge de printemps	12	16	15	<b>43</b>
Maïs grain et fourrage	27	90	20	<b>137</b>

En définitive pour les cinq grandes cultures majoritaires, il est possible de proposer avec les variables disponibles dans l'enquête SSP trois classes de combinaisons techniques selon une échelle de niveau d'utilisation croissant des intrants (Tableau 3, Annexe 3). Le plus fréquemment c'est l'intensité des traitements avec conjointement les quantités d'azote apportées qui ont un pouvoir discriminants dans la constitution des classes. Les modalités de

travail du sol (labour ou non labour) sont le plus souvent corrélées à ces techniques les plus influentes avec parfois les dates de semis.

Ces résultats sont obtenus sur une année culturale, sur des parcelles différentes et dans une grande majorité pour des agriculteurs différents. Les variables techniques retenues sont contingentes de l'enquête SSP. On ne dispose pas d'une analyse par parcelle et par agriculteur des logiques d'emploi successif des techniques et des raisonnements mobilisés. Chaque variable pèse le même poids dans l'analyse descriptive retenue. Des effets de redondance entre ces variables ou des corrélations liées à la diversité des milieux en Bourgogne ne sont pas à exclure.

### **II.3.2. Méthodes de classement des situations de production**

Pour décrire la variabilité des situations de production sur l'échantillon de parcelles considérées, on a sélectionné 9 variables (climat, sol, exploitation agricole, Tableau 1 de l'article Aouadi et al., 2015). On utilise la méthode d'analyse multidimensionnelle d' "Hill and Smith" (prise en compte de variables qualitatives et quantitative, Fig 4 de l'article) suivie d'une classification (Fig 5). Trois classes sont retenues à l'issue de cette analyse en tenant compte de la variabilité inter et intra classe (gain d'inertie). Le premier groupe (A, 282 individus) combine des exploitations de grandes cultures avec des exploitations d'élevage en moindre proportion. Les sols sont peu calcaires, argilo-limoneux et profonds avec une forte réserve utile. La zone typique de ce groupe correspond à une situation de plaine dans le fossé Bressan au sud de Dijon, mais aussi le Nord de l'Yonne. Sauf restrictions, il y a le plus souvent accès à l'irrigation et de nombreuses zones sont drainées. Ce groupe représente les situations en Bourgogne les plus favorables aux grandes cultures. Le deuxième groupe (B, 118 individus) correspond principalement à des exploitations d'élevage bovin sur des sols argileux peu calcaires, moyennement profonds (réserve utile moyenne). Plusieurs zones sont concernées en Bourgogne, la plus typique est l'Auxois à l'ouest de Dijon où les prairies permanentes dominent avec des élevages de charolais, zone qui se prolonge en Saône-et-Loire. Le dernier groupe (C, 361 individus, soit près de la moitié de l'échantillon) est composé principalement d'exploitations spécialisées en grandes cultures (dans de rares cas on note des exploitations mixtes) sur des sols argilo-calcaires, peu profonds avec des réserves utiles faibles. Plusieurs zones de la Bourgogne répondent à cette définition avec comme modèle les plateaux calcaires au Nord de Dijon.

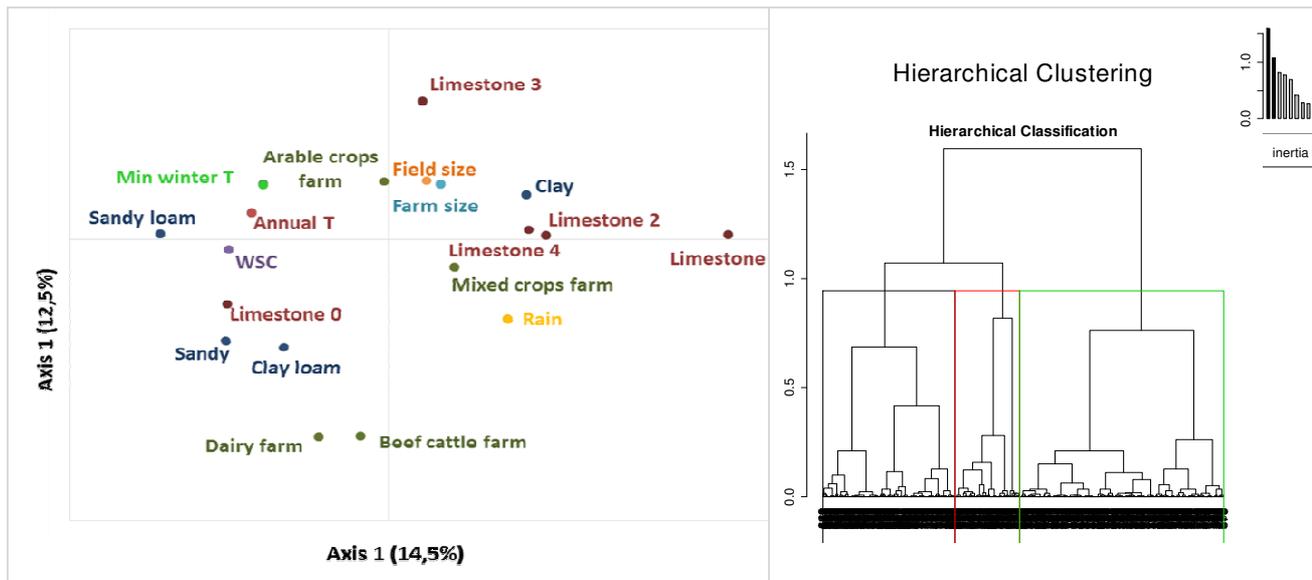


Figure 6. Analyse d'Hill et Smith sur les variables de situation de production pour 761 parcelles et classification hiérarchique

### II.3.3. Comparaison des deux classifications de situation de production

Nous comparons ici les résultats de la classification issue de l'analyse Hill&Smith à celle menée avec la méthode CART (Figure 5 de l'article). Rappelons que les modes de classification ne sont pas de même nature. La première provient d'une analyse purement descriptive sur les variables qui caractérisent les situations de production. La deuxième (CART) est basée sur un modèle de régression, ce qui signifie que les groupes sont construits sur la base des variables descriptives des situations de production qui discriminent le mieux les types de systèmes de culture identifiés par ailleurs (Tableau 3 de l'article). Cette deuxième méthode, qui aboutit à une classification, est orientée par la diversité des systèmes de culture, ce qui n'était pas ou peu le cas de la première. En effet, la variable OTEX (orientation technico-économique des exploitations) présente dans la caractérisation des situations de production est forcément corrélée, mais non redondante avec les descripteurs des systèmes de culture.

Une première comparaison simple consiste à dresser le tableau de contingence entre les trois groupes (A, B, C) proposés par la première méthode et les six groupes issus de CART (Figure 5 de l'article). Le Chi-2 calculé sur ce tableau est très largement significatif (cf. annexe 4), ce qui nous montre la cohérence entre les deux classifications. Pour évaluer le degré de similarité, nous avons effectué sur ce tableau une analyse factorielle de correspondance (Figure7). Le groupe A est projeté sur le plan factoriel à proximité du groupe PS#3. On retrouve des caractéristiques communes de forte réserve utile bénéficiant à des systèmes céréaliers caractérisés par une certaine diversification des cultures (introduction notamment du pois et du tournesol dans la succession). Le groupe C est associé fortement avec les groupes PS#1 et PS #2 qui représentent les plateaux calcaires associés à des grandes cultures avec une faible représentation de l'élevage. C'est la succession Colza-Blé-Orge qui domine dans ces petites terres à cailloux avec une faible réserve utile. La méthode CART différencie au sein de ce faciès deux variantes (#1 et #2) selon la taille des parcelles et

corrélativement le niveau d'intensification des itinéraires techniques. Enfin le Groupe B est très proche du groupe PS #6, et les groupes PS #4 et PS #5 sont intermédiaires entre A et B. Cependant ces groupes ont en commun la présence d'élevage, de prairies permanentes et de cultures fourragères dans la succession de culture sur des sols plutôt argileux, ce qui les rapproche du groupe B. La méthode CART différencie 3 situations dans ce contexte: PS#4 représente des exploitations mixtes entre élevage et grandes cultures, PS#5 et PS#6 possèdent un élevage dominant, mais se différencient par la texture, PS#6 correspondant à des parcelles beaucoup plus argileuses. Corrélativement, on a moins de prairies permanentes en PS#5 et plus de maïs dans la succession.

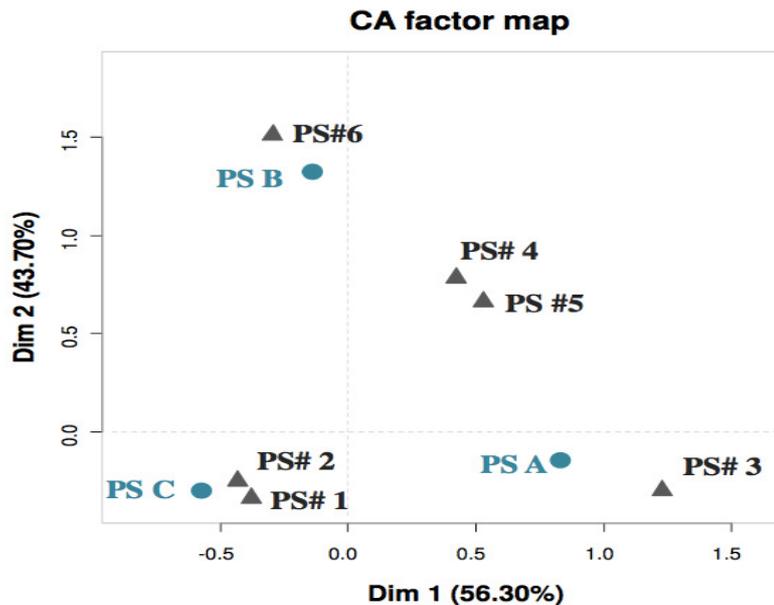


Figure 7. Analyse factorielle des correspondances confrontant les deux typologies de situations de production

En conclusion, on constate une grande cohérence entre les deux approches. La première classification réalisée indépendamment d'une définition précise des systèmes de culture fournit trois ensembles cohérents et synthétiques de l'agriculture de Bourgogne (hors vignoble et forêts). On retrouve ces trois distinctions avec la méthode CART. Ce qui permet en sus de préciser des sous-groupes sur des caractères de systèmes de culture portant sur l'importance de cultures fourragères dans les situations d'élevage, sur la diversification des cultures et/ou sur l'intensification des itinéraires techniques. Même s'il n'y a pas parfaite correspondance, il est possible d'utiliser ces deux typologies quasiment emboîtées en fonction des questions posées dans la suite du travail. Notons que dans la première classification nous disposons d'un critère statistique pour définir le nombre de classes. Dans la deuxième il est théoriquement possible d'avoir un critère de décision pour définir le nombre de groupes pertinents en définissant un échantillon test constitué de parcelles tirées au hasard dans la population de départ. Nous n'avons pas adopté cette démarche car la taille de notre population, quoique confortable, ne permettait pas d'envisager cette option.

### II.3.4. Test de cohérence des typologies de situation de production avec les zones agricoles de Bourgogne

La projection de nos résultats à l'échelle de l'exploitation ou de la commune n'a pas été possible en raison des contraintes fixées par le SSP au regard du secret statistique. Nous avons opté pour des ensembles plus larges représentatifs de la diversité agricole de la Bourgogne. Les notions de régions agricoles (RA) et petites régions agricoles (PRA) sont disponibles dans les bases de données du SSP.

« **La Région Agricole (RA)** est définie par un nombre entier de communes formant une zone d'agriculture homogène. Elle peut être à cheval sur plusieurs départements. **La Petite Région Agricole (PRA)** est constituée par le croisement du département et de la RA. Le découpage du territoire français en « Régions Agricoles » en né en 1946, pour répondre à la demande du Commissariat Général au Plan. L'objectif était de disposer d'un zonage approprié pour la mise en œuvre d'actions d'aménagement destinées à accélérer le développement de l'agriculture. Pour l'INSEE il s'agissait, pour étudier l'évolution de l'agriculture, de disposer d'un découpage stable de la France en unités aussi homogènes que possible du point de vue agricole, en s'affranchissant des découpages administratifs aux limites arbitraires. Largement inspirées des régions géographiques, les RA et PRA ont une taille intermédiaire entre la commune (zone trop petite pour présenter des résultats) et le département (zone trop hétérogène). Cependant, les mutations technologiques et économiques, les processus de spécialisation et de redistribution des activités, font qu'il est parfois difficile aujourd'hui de reconnaître le bien-fondé des limites de 1946 » (source SSP).

Ces limites résultent d'une expertise sur le milieu et sur l'occupation des sols en se basant notamment sur les découpages géographiques et les termes vernaculaires. Une telle tentative avait déjà été amorcée dans les monographies agricoles des départements qui datent de 1929. La Figure 8 présente les 35 PRA en Bourgogne. Certaines sont délimitées en relation avec le vignoble bourguignon qui est hors sujet pour notre travail. Néanmoins l'utilisation de ce découpage est apparue difficile, dans la mesure où on ne disposait pas de suffisamment d'enquêtes pour certaines PRA et en regard à l'évolution de l'agriculture depuis 1950.

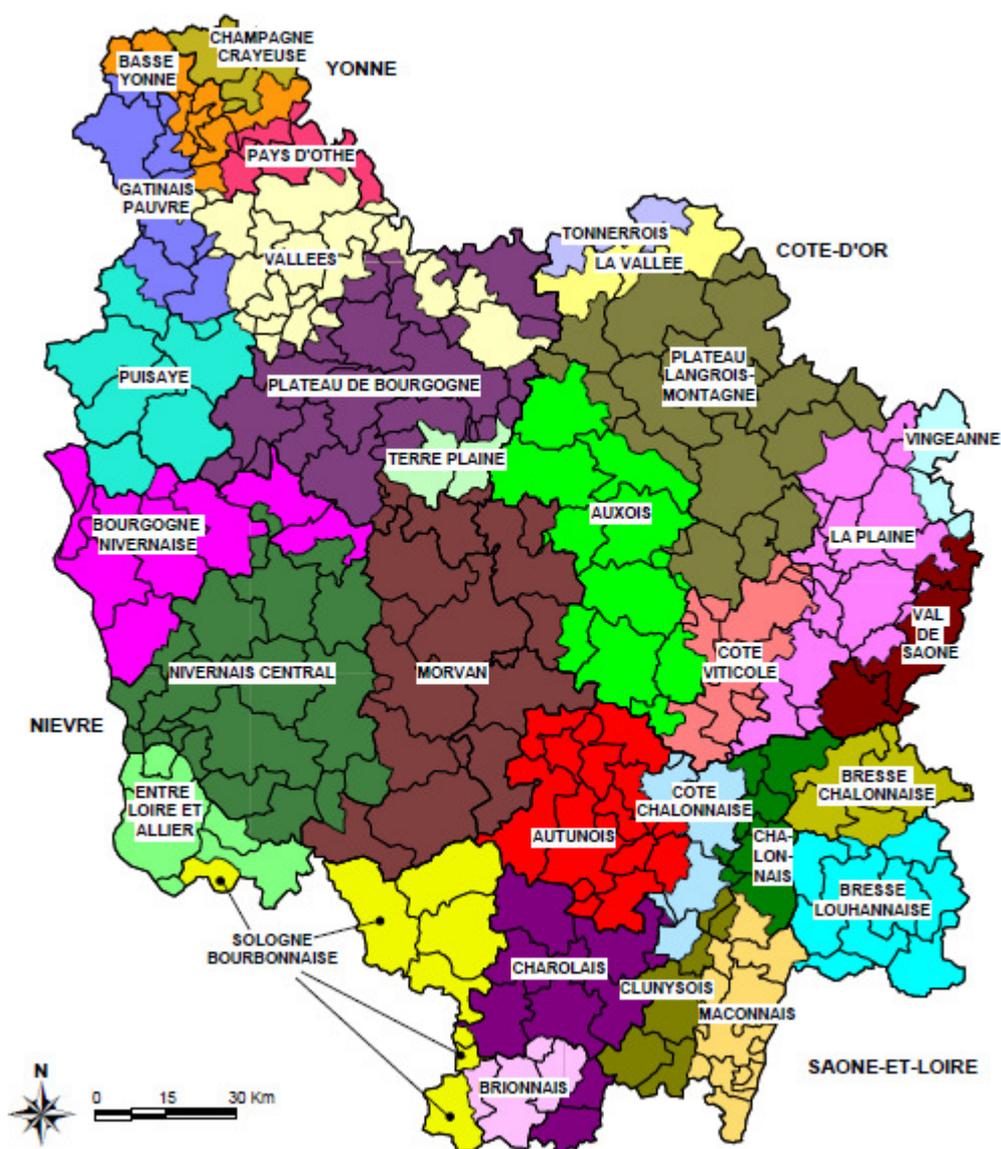


Figure 8. Les petites régions agricoles (PRA) en Bourgogne.  
 Source : Direction régionale de l’agriculture et de la forêt (INSEE 2000)

Certains grands traits restent bien sûr constants : pour le milieu physique l’opposition entre terres de plaine et de plateaux avec des teneurs en cailloux contrastées et des réserves hydriques très différentes, des zones argileuses non drainées propices à la prairie permanente. Du point de vue de l’occupation des sols on note des grandes cultures dominantes avec des possibilités de diversification forte en plaine et la dominance des cultures d’hiver en plateau, enfin des zones caractérisées par l’élevage bovin charolais. Certaines PRA ont évoluées significativement avec le drainage, l’irrigation, le retournement des prairies, l’agrandissement des exploitations... En conséquence, nous avons travaillé avec les experts de la Chambre d’agriculture régionale pour actualiser le découpage, sur la description des orientations technico-économiques des exploitations en Bourgogne (Agreste) et sur les caractéristiques du milieu. Il a été possible de regrouper des PRA en fonction des dynamiques agricoles depuis les années 50. On aboutit à la figure 9 qui permet de délimiter sept zones (Z1 à Z7) jugées pertinentes.

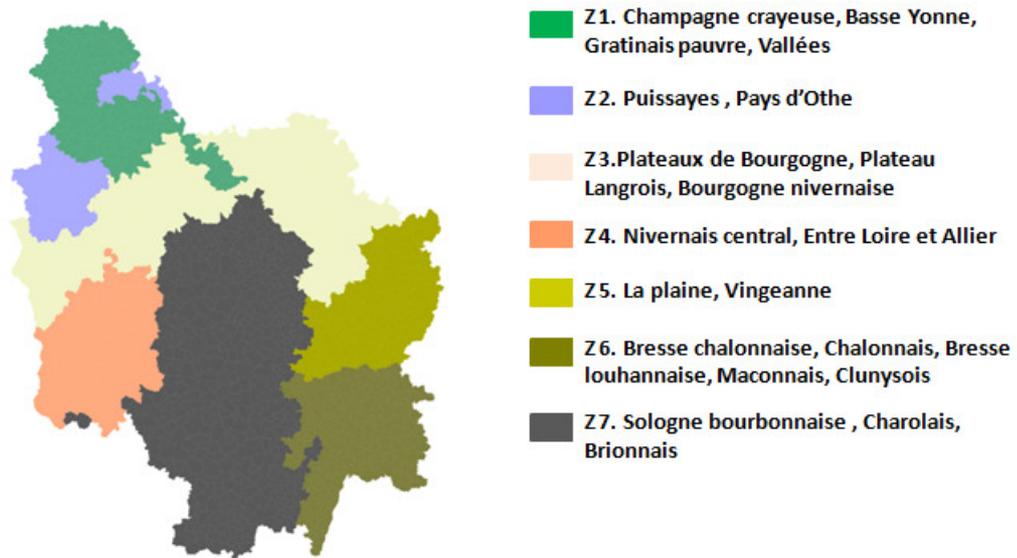


Figure 9. Regroupement des PRA en Bourgogne en 7 zones sur la base d’expertise

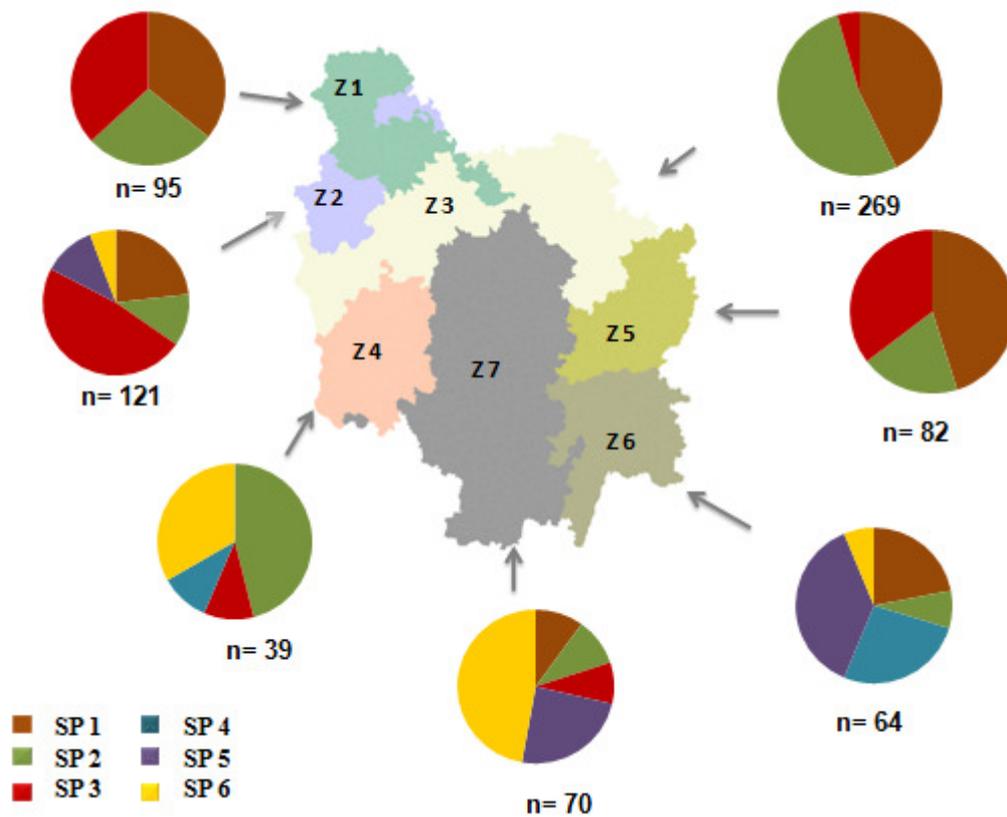


Figure 10. Confrontation des zones agricoles de la Bourgogne à la classification des situations issues de la méthode CART.

La confrontation de la classification issue de la méthode CART (6 groupes) aux sept zones définies est riche d'enseignement (Figure 10). Rappelons que nous excluons de l'analyse les vignobles situés dans les zones 1, 6 et 5, et également les zones forestières les plus denses dans le Morvan au nord de la zone 7.

Le Nord de la Bourgogne est constitué de deux zones (Z1 et Z2), principalement située dans l'Yonne. Les classes SP1 à SP3 sont les plus représentées, ce qui signifie une combinaison d'exploitations pratiquant des grandes cultures plus ou moins intensives et diversifiées dans des milieux favorables. La zone Z2 a cependant une vocation d'élevage plus marquée. La zone Z5 correspond à la Plaine au Sud de Dijon, comme le nord de l'Yonne, cette zone présente des conditions de sols favorables et des exploitations céréalières diversifiées. La fermeture de l'usine d'Aiserey a privé cette zone de la betterave sucrière qui a été remplacée pour partie par du colza. Pour cette raison, la succession colza/blé/orge typique des plateaux calcaires est devenue une pratique courante dans cette zone de plaine.

Sur un croissant au sud de ces deux premières zones, la Zone Z3 rassemble les plateaux calcaires de la Bourgogne, avec cependant des profondeurs de sols et des taux de cailloux variables. Cette zone couvre trois départements (Côte d'or, Yonne et Nièvre), la zone la moins favorable étant située dans le Nord de la Côte d'or. Conformément à ce que l'on a déjà décrit, cette zone est caractérisée par les grandes cultures avec le colza, le blé et l'orge. La succession ainsi pratiquée permet d'éviter le plus souvent les risques de déficits hydriques du début de l'été. La zone Z4 est située dans la Nièvre et la zone Z6 touche les 4 départements. Elles se caractérisent par l'importance des situations d'élevage dans un contexte de sols argileux. Dans la zone Z4 domine l'élevage charolais, la présence de prairies permanentes qui s'explique pour partie par les conditions de milieu. La zone Z6 est plus composite, elle abrite environ 50% de situations céréalières plutôt moins intensives par rapport aux situations de Plaine. En Saône et Loire, cette zone Z6 est dominée par des élevages bovins et granivores avec des situations d'exploitation mixte. Les grandes cultures sont présentes pour au moins  $\frac{1}{4}$  des effectifs avec la présence du maïs dans les successions.

En définitive, cette confrontation montre une bonne cohérence entre la caractérisation de situations de production croisées avec les systèmes de culture et les zones régionales définies sur des critères géographiques, mais aussi en vue d'un développement agricole. Il nous paraît alors possible de retenir les classes générées par l'analyse statistique pour envisager l'évolution des systèmes de cultures vers la protection intégrée. Les zones agricoles seront très précieuses pour extrapoler les résultats à tout ou partie de la Région Bourgogne.

#### **II.4. Discussion, conclusion**

Du point de vue des méthodes, ce travail s'inscrit dans une suite de travaux dont l'origine se situe dans les années 1970. Ces investigations sont contemporaines de la définition de système de culture que nous utilisons (Sebillotte, 1990). A cette époque de nombreuses études régionales ont été menées sur le fonctionnement des exploitations agricoles avec croisement plus ou moins explicite avec les systèmes de culture (Caneill et al., 1987 ; Capillon, 1993). Dans la même période est apparu le recours à des analyses statistiques comme aide à la typologie des itinéraires techniques (Conesa et al., 1975, 1979 ; Latiri-Souki

1983) puis des exploitations agricoles (Capillon, 1993). Plus récemment ces analyses sont proposées à un niveau régional ou bassin versant (Mignolet et al., 2007 ; Schmidt et al., 2010).

Dans ces analyses statistiques multidimensionnelles, la caractérisation des successions de culture est souvent déconnectée de l'analyse des itinéraires techniques (au mieux le précédent cultural est projeté comme variable supplémentaire dans l'analyse des itinéraires techniques). Le traitement des données de successions de culture n'est pas simple d'un point de vue numérique. Les travaux de Schott (2012) proposent un outil simple, « Teruti Miner », qui est une aide efficace pour trouver les périodicités et regrouper ainsi les parcelles selon des successions de culture homogènes, présentant cependant en leur sein des variantes. Les grands critères de classification sont l'importance dans les séquences de types de culture (céréales d'hiver, céréales de printemps, maïs et betterave sucrière, légumineuses, prairie de courte et de longue durée...). La fréquence de cultures de printemps par rapport à celle d'hiver, qui joue sur la pression potentielle des bioagresseurs, est particulièrement importante pour notre travail qui vise à évaluer l'intérêt d'une protection intégrée. D'autres approches permettent de proposer des typologies de séquence de culture triplets dans le temps) sur la base des chaînes de Markov (Le Ber et al., 2006). Des travaux récents montrent l'intérêt de cette démarche pour permettre avec les statistiques agricoles une caractérisation au niveau de la France entière (Xiao et al., 2014). Une telle méthode n'est pas adaptée à notre corpus de données qui est plus limité.

Pour les itinéraires techniques, les tentatives sont plus nombreuses. La majorité des travaux utilisent l'analyse factorielle de correspondance, en général multiple, suivie d'une classification automatique. Les travaux les plus récents combinent cette analyse avec une interprétation spatiale (par exemple sur le bassin de la Seine, cf. Schott et al., 2003). C'est une telle approche qui a été utilisée pour les données traitées en Bourgogne. Son efficacité est bonne pour le classement des itinéraires techniques en Bourgogne pour les cinq cultures dominantes et dans un gradient d'intensification.

L'originalité de notre travail est d'avoir connecté une classification de « successions de cultures » à celle réalisée sur les « itinéraires techniques », aboutissant à des classes de systèmes de culture. Cette mise en correspondance ne peut se faire qu'avec certaines hypothèses. En effet, on ne dispose pas des itinéraires techniques pour les six années de cultures recensées dans les statistiques agricoles sur chaque parcelle enquêtée. Seule la dernière culture est renseignée. Or, pour chacune des cultures, on a pu clairement classer les itinéraires techniques en trois grands types qui sont comparables sur leur niveau d'intensification. On fait alors l'hypothèse qu'au sein du même type d'exploitation agricole ou de situation de production, les cultures de la succession obéissent au même grand type d'itinéraire technique. Il n'est pas possible de tester cette hypothèse sur notre base de données. Elle est cependant considérée comme raisonnable par les experts régionaux qui ont été mobilisés. C'est cependant une des limites à nos travaux qui reposent sur des statistiques descriptives. Malgré le soin dans le choix des variables pertinentes, les résultats sont sous la dépendance des liaisons entre ces variables. Or chacune a le même poids dans l'analyse. La description ne tient pas compte du caractère « ordonné » des techniques les unes par rapport aux autres. Des confusions d'effets sont donc possibles. D'où la nécessité d'un recours à l'expertise pour minimiser les risques de fausses interprétations.

Au total on a obtenu des typologies opératoires qui montrent le poids du milieu dans la répartition des systèmes de culture. La répartition des types de système de culture dans les différents types de situations de production identifiées et dans les petites régions agricoles qui doivent leur délimitation principalement à des caractéristiques de sol, de climat et d'autres composantes géographiques, en est une démonstration. Pourtant une partie de variabilité est non expliquée par ces variables de situation de production. Dans l'article, la diversité résiduelle de systèmes de culture au sein des situations de production identifiées est attribuée à la diversité des acteurs qui, différant par leurs connaissances, leur psychologie, leur histoire, peuvent prendre des décisions différentes dans une situation de production donnée.

Une des limites de ce travail est le lien entre système de culture et système de production qui n'est révélé que d'un point de vue statistique. Certes on dispose de variables pertinentes pour caractériser les deux, mais sans avoir accès aux logiques de prise de décision des acteurs. Une telle compréhension nécessite de nombreuses enquêtes sur le fonctionnement des exploitations agricoles. Néanmoins nous avons pris le soin de mobiliser des experts régionaux (Aouadi et al., 2015) qui ont fourni des références sur les systèmes actuels et sur les cultures candidates à des systèmes respectant les règles de la protection intégrée. De plus confronté à la typologie issue des analyses statistiques, ils ont évalués avec leur connaissance fonctionnelle des exploitations agricoles la cohérence des types à l'échelle de leur territoire de conseil.

En définitive notre approche a le mérite de proposer une classification opératoire des systèmes de culture appliqués en Bourgogne. L'analyse en termes de situation de production permet en plus de saisir les grands déterminants de ces systèmes. La classification en six groupes par la méthode CART est la plus précise que l'on ait pu mettre en évidence au plan statistique. Néanmoins celle proposée par la classification hiérarchique en trois classes nous semble plus opératoire pour la suite du travail. On distingue clairement les trois situations qui caractérisent les zones de grandes cultures en Bourgogne : les zones de plaine où s'est développée une agriculture intensive voire industrielle, les zones de plateaux avec des petites terres à cailloux où les cultures d'hiver dominant, et enfin les zones de polyculture élevage (les situations d'élevage fondées strictement sur des prairies permanentes ont été écartées). Il y a une bonne compatibilité avec les résultats de la méthode CART qui offre des variantes à ces trois situations. Pour les simulations proposées dans le Chapitre suivant, nous focalisons notre effort sur les deux situations dominantes en grande culture, à savoir la zone dite de plateaux et celle dite de plaine. Elles sont contrastées et représentent la grande majorité de la production céréalière de la Bourgogne (2/3). Les situations de polyculture élevage sont plus délicates à traiter pour l'instant vu le manque de références nécessaires pour les modèles d'optimisation.





## **Chapitre III. Conception et évaluation de systèmes de culture innovants basés sur la protection intégrée avec réduction des intrants**

### **III.1. Introduction**

#### **III.1.1. Originalité de cette étude**

Ce chapitre est consacré à la conception et à l'évaluation multicritère de systèmes de culture relevant de la protection intégrée des cultures (systèmes PIC) et optimisés du point de vue économique.

Les systèmes de culture PIC sont en rupture avec les systèmes existants en Bourgogne en termes de stratégies de gestion avec d'une part la diversification des cultures (et en conséquence le rallongement des successions), et d'autre part des adaptations des itinéraires techniques de chaque culture. Ces systèmes doivent répondre aux différents enjeux de la durabilité avec en priorité le maintien de la rentabilité des systèmes de culture et la réduction du recours aux produits phytosanitaires. Ils doivent améliorer l'efficacité énergétique et être réalisables du point de vue technique et de l'organisation du travail.

Pour concevoir ces systèmes de cultures innovants, nous avons utilisé un modèle de programmation mathématique. L'utilisation de la programmation mathématique linéaire et non linéaire est de loin la méthode la plus utilisée pour faire de l'optimisation sous contraintes (Dury et al., 2011). Elle est le plus souvent traitée à l'échelle de l'exploitation agricole (par exemple Rossing et al., 1997 ;Bamière et al., 2011 ; Jacquet et al., 2011, Dogliotti et al., 2005), et beaucoup moins à l'échelle du système de culture. De nombreuses études ont utilisé la programmation linéaire pour résoudre des problèmes de choix d'assolements pour les agriculteurs (par exemple McCarl et al., 1977; Leroy and Jacquin, 1991; Sarker et al., 1997 ;Dury et al., 2011).

#### **III.1.2. Choix des contextes de production pour la modélisation**

La Bourgogne est un territoire diversifié. Il est nécessaire d'évaluer la simulation de systèmes PIC dans différents contextes de production, mais il n'a pas été possible dans le cadre de ce travail, pour des raisons de temps, de simuler l'adoption de la PIC pour toutes les situations de production identifiées dans le chapitre II. Le modèle d'optimisation sous contraintes a été développé pour 'la plaine et le nord de l'Yonne' et 'les plateaux' (cf. Chapitre II). Plusieurs raisons justifient ce choix. Tout d'abord, ces deux types de situation de production sont les plus représentés en Bourgogne. Les systèmes de cultures pratiqués sont les plus fréquents dans la région avec une prédominance des céréales d'hiver. Il s'agit par ailleurs de deux contextes de production très différents. La plaine est considérée comme un milieu à fort potentiel, alors que les plateaux présentent un contexte de production contraignant avec des sols superficiels et caillouteux, *a priori* peu favorables à l'adoption de certains leviers de la PIC comme l'introduction de cultures de printemps ou le désherbage mécanique.

Enfin, nous avons mobilisé des références locales pour la conception des itinéraires techniques PIC adaptés aux différents contextes de production, et pour estimer les rendements des cultures conduites en PI qui participeront aux choix des cultures dans les rotations grâce à l'optimisation. Ces références ne sont pas toujours facilement accessibles. Dans le cas de la plaine, il existe plusieurs expérimentations de longue durée visant à mettre en place des prototypes de systèmes de culture PIC dans le but d'évaluer leurs performances. L'essai systèmes PIC adventice de Dijon-Epoisses a été mis en place dans la plaine de Dijon dans des sols profonds et très argileux (35 à 45 % d'argile, cf. chapitre I pour les détails du dispositif). L'objectif de cette expérimentation est d'évaluer les performances des systèmes de culture prototypes pour la maîtrise de la flore adventice (Chikowo, et al., 2009), pour la rentabilité économique et la faisabilité technique (Munier-Jolain et Dongmo, 2011, Pardo et al., 2010), et pour des aspects environnementaux (Deytieux et al., 2012).

Un autre essai système situé dans le même type de situation de production est conduit par le lycée agricole de Quetigny à Tart-le-Bas. Cet essai a démarré en 2003 sur une surface de 130 ha réservée aux grandes cultures. Plusieurs systèmes de culture sont testés (Le Lay et al., 2010) :

- un système de référence avec une rotation de 3ans (betterave-blé tendre d'hiver-orge de printemps) et des pratiques culturales incluant le choix de variétés productives, l'ajustement de la fertilisation en fonction des objectifs de rendement élevés ainsi que l'application des pesticides après des observations au champs. Le travail de sol profond est également pratiqué dans ses systèmes.
- Des systèmes de culture basés sur les principes de la PIC avec des rotations plus diversifiées intégrant (en plus de la betterave, du blé d'hiver et de l'orge de printemps), des prairies et des légumineuses. Les pratiques culturales adoptées incluent la réduction des objectifs de rendement, l'utilisation de variétés résistantes aux maladies, la réduction du travail du sol et de l'utilisation des pesticides ainsi que le recours au désherbage mécanique quand c'est possible.

Le dernier site susceptible de fournir des références est la zone atelier de Fenay, située au Sud de Dijon. Elle est composée de 160 parcelles sur une superficie de 930 ha. Cinq types de systèmes de culture sont présents dans cette zone dont trois conduits en raisonné, un conduit en production intégrée et un en conduite biologique (Launais, 2011).

Concernant les plateaux on ne dispose pas d'expérimentations système conduites dans ce type de contexte de production. Néanmoins il est possible d'estimer les différences de performances avec la plaine. Ces valeurs ont été proposées aux conseillers de la Chambre Régionale d'Agriculture de Bourgogne, qui ont pu se prononcer sur les cultures, les pratiques, les rendements, issue d'observations de situations ponctuelles innovantes dans ce contexte de production.

### **III.1.3. Démarche suivie pour concevoir des systèmes de culture optimisés économiquement sous contraintes PIC**

Un itinéraire technique relevant de la protection intégrée (ItK PIC) est construit pour toutes les cultures candidates à la diversification, en tenant compte de la nature du précédent (itinéraire de travail du sol dépendant de la date de récolte du précédent, fertilisation azotée réduite en cas de précédent 'légumineuse'). Ces itinéraires techniques PIC par culture ont été

renseignés sous forme de matrice technico-économique (définie plus loin dans ce chapitre). Elle permettra par la suite de calculer l'ensemble des performances économiques, sociales et environnementales. Pour l'optimisation économique sous contrainte, nous avons choisi la programmation mathématique en utilisant le logiciel GAMS. Le modèle développé sous GAMS permet d'intégrer l'ensemble des contraintes PIC préalablement fixées et de générer des successions et des assolements de cultures diversifiées maximisant la marge du système de culture associé. Le choix de cette méthode d'optimisation parmi d'autres méthodes explorées sera justifié plus loin.

Afin d'évaluer les conséquences de la PIC dans la plaine et les plateaux, plusieurs étapes ont été suivies :

- Caractérisation des systèmes de culture actuels dominants ainsi que des systèmes de culture PIC générés par programmation mathématique en termes de successions culturales et d'itinéraires techniques, et ceci pour les deux contextes de production ;
- Comparaison des performances économiques des systèmes de culture actuels et PIC, pour 30 scénarios de prix des intrants (engrais, fioul) et des produits agricoles, en tenant compte de la variabilité interannuelle du rendement ;
- Evaluation du niveau d'utilisation des pesticides pour les différents systèmes ainsi que du risque de perte de l'azote minéral dans l'environnement ;
- Evaluation de la faisabilité technique des systèmes de culture par rapport à la charge du travail et l'organisation du chantier de travail ;
- Comparaison de l'efficacité énergétique des systèmes actuels et PIC.

## **III.2. Matériels et méthodes**

### **III.2.1. Optimisation économique sous contraintes des assolements de cultures**

#### **III.2.1.1. Construction de matrices technico-économiques : Choix des cultures de diversification et itinéraires techniques en protection intégrée des cultures (PIC)**

Une étape préliminaire s'est révélée nécessaire avant la modélisation. Elle consiste à construire des itinéraires techniques PIC pour l'ensemble des cultures candidates à la diversification. Ces itinéraires techniques PIC sont détaillés sous forme de matrice technico-économiques.

Une matrice technico-économique est constituée de toutes les cultures sélectionnées pour la diversification des successions et de leurs précédents possibles. Pour chaque culture un itinéraire technique PIC est détaillé de la récolte du précédent jusqu'à la récolte de la culture. Le choix variétal et les densités de semis sont renseignés ainsi que la dose et la fréquence d'application de tous les intrants (pesticides et fertilisation minérale). Le matériel agricole est également spécifié pour chaque intervention. La matrice technico-économique permettra de calculer les indicateurs de performances économiques, sociales et environnementales.

La construction d'une rotation de cultures cohérente nécessite une bonne connaissance des espèces cultivées. Les critères retenus sont l'adaptation au milieu (conditions pédoclimatiques), les caractéristiques agronomiques (par exemple, effet sur les états du sol)

ainsi que de leurs caractéristiques techniques et économiques. Chaque culture présente des atouts mais aussi des limites. Les cultures diffèrent par exemple par leurs besoins en azote pour atteindre les rendements objectifs, par leur sensibilité aux maladies et aux ravageurs, ou par leur pouvoir compétitif sur les adventices.

En protection intégrée, il existe un certain nombre de principes à respecter pour le choix des cultures de la succession, qui ont fait leurs preuves dans les expérimentations systèmes qui les ont mis en œuvre (Chikowo et al., 2009). Il est nécessaire par exemple de diversifier les périodes de semis représentées à l'échelle de la succession, pour rompre le cycle des bioagresseurs, de choisir des cultures susceptibles de rentrer en compétition avec les adventices. Il est également conseillé d'intégrer dans la succession une légumineuse fixatrice d'azote atmosphérique et capable de restituer une partie de l'azote pour la culture suivante exigeante en azote (Machet et al., 1996).

Dix-sept cultures candidates à la diversification ont été proposées pour la modélisation. Ces espèces appartiennent à plusieurs groupes de cultures avec des périodes de semis différentes :

- Cultures d'automne tardif : céréales d'hiver (blé tendre d'hiver, orge d'hiver, triticale) ; et protéagineux d'hiver (féverole d'hiver, pois d'hiver)
- Cultures d'automne précoce : colza et moutarde d'hiver
- Cultures de printemps : orge de printemps, pois de printemps, féverole de printemps, lupin de printemps, moutarde de printemps
- Cultures d'été : maïs, soja, sorgho, tournesol, chanvre

Certaines de ces cultures sont largement cultivées sur le territoire bourguignon comme le blé tendre d'hiver et le colza (intérêt économique). D'autres sont très peu cultivées soit parce qu'elles ne sont pas suffisamment rentables comme les cultures de printemps soit à cause de l'absence de débouchés (i.e. chanvre et triticale).

Les itinéraires techniques PIC pour La Plaine ont été conçus sur la base des références existantes issues de l'expérimentation de longue durée de Dijon Epoisses (Chikowo et al., 2009) avec en complément les résultats de Tart le Bas et de Fenay. Pour les plateaux, les références PIC étant moins nombreuses, l'expertise a été mobilisée pour concevoir des itinéraires PIC adaptés aux contextes des plateaux : la fertilisation azotée a été ajustée en fonction des rendements estimés par les conseillers de la chambre d'Agriculture, les outils de désherbage mécanique peu compatibles avec les sols caillouteux ont été évités, remplacés par des traitements herbicides supplémentaires par rapport aux itinéraires techniques PIC de la Plaine.

L'itinéraire technique PIC conçu pour chaque culture permet de combiner un ensemble de leviers agronomiques de façon à contrôler au mieux la flore adventice, les maladies et les ravageurs. Le choix des pratiques culturales prend en considération l'effet du précédent et dépend des caractéristiques et contraintes du milieu.

Pour la Plaine, qui est un milieu à fort potentiel, un déchaumage est pratiqué très tôt après la récolte du précédent afin d'éviter la grenaison des mauvaises herbes et limiter l'augmentation du stock semencier. Il est suivi systématiquement par un ou plusieurs faux semis /travail superficiel du sol pour nettoyer la parcelle avant d'installer la culture (ce qui a aussi pour but de perturber les limaces), sauf pour les cultures qui suivent une récolte tardive (par ex. blé tendre qui suit un soja ou un tournesol). Un labour est réalisé systématiquement

pour toutes les cultures sauf les céréales d'hiver. Cette action sur le sol permet d'enfouir en profondeur les semences d'adventices et d'éviter leur germination. La diversification des cultures avec alternance des céréales d'hiver avec les autres cultures permet d'assurer une fréquence du labour proche d'un an sur deux à l'échelle de la rotation.

En production intégrée, le blé est semé tardivement (fin octobre) avec une densité plus élevée que le blé semé plus précoce. Le retard de la date de semis permet d'éviter la période de levée préférentielle des adventices automnales (par exemple le vulpin) et de limiter le recours aux herbicides souvent utilisés à l'entrée de l'hiver en semis plus précoces. L'utilisation d'association variétale avec des profils génétiques résistants différents a pour intérêt de limiter la pression des maladies foliaires et permet d'appliquer moins de fongicide.

Le désherbage mécanique est pratiqué sur toutes les cultures, il est associé à du désherbage chimique quand c'est nécessaire. Pour le colza, les adventices sont gérées uniquement de façon mécanique. Dans le cas des céréales d'hiver et de printemps, un herbicide à large spectre est appliqué une année sur deux (fréquence fixée à dire d'expert sur la base des résultats expérimentaux) ainsi qu'un herbicide contre les gaillets et un anti chardon en localisé, ces deux espèces étant problématiques sur les céréales. Dans le cas du maïs, un mélange d'herbicide à large spectre est appliqué systématiquement sur le rang ainsi qu'un traitement anti chardon en localisé.

Concernant les autres pesticides, un fongicide et un insecticide à spectre large, sont appliqués systématiquement pour chaque culture. Pour le colza, 3 insecticides sont préconisés systématiquement pour lutter contre les coléoptères principalement les méligèthes ainsi que le charançon de la tige. Dans le cas du maïs, la lutte biologique (trichogramme) est privilégiée pour lutter contre la pyrale, principal agent nuisible de cette culture.

Le chanvre est une culture intéressante du point de vu phytosanitaire du fait qu'elle n'exige aucun traitement ni de désherbage mécanique puisque les adventices sont étouffées par la culture. Le tournesol est également un bon élément de la rotation pour cet aspect, cette culture peut ne pas subir de traitement pesticide si un désherbage mécanique et /ou un binage est pratiqué.

Un couvert végétal constitué de vesce et d'avoine de printemps est préconisé pendant l'interculture pour les cultures qui suivent une récolte précoce (par exemple un maïs après une céréale d'hiver). L'interculture est la période qui sépare la récolte d'une culture et le semis de la culture suivante. La mise en place d'un couvert végétal dans la période automnale est obligatoire selon la réglementation qui détermine les zones concernées, les espèces autorisées ainsi que la période de la mise en place du couvert. L'objectif est de limiter la lixiviation des nitrates et réduire la pollution des eaux souterraines.

Une fertilisation de fond est appliquée une année sur deux pour toutes les cultures, de façon à compenser les exportations. La fertilisation azotée est raisonnée par rapport au précédent cultural et aux rendements espérés, ce qui se traduit en moyenne par une réduction de l'apport azoté dans les systèmes PIC par rapport aux systèmes intensifs.

Le milieu pédoclimatique plus favorable dans la Plaine a pour conséquence une meilleure valorisation des apports azotés par rapport aux plateaux où la fertilisation est plus faible. Certaines cultures d'été sont irriguées dans la Plaine. Il s'agit du maïs, du sorgho et du soja.

La matrice technico-économique construite pour la Plaine est présentée en annexe 9.

Pour les plateaux, les itinéraires techniques sont très différents de ceux de la plaine :

- Il y a une absence de labour, de désherbage mécanique et de binage, difficiles à pratiquer sur des terres caillouteuses ;
- Le travail superficiel du sol est effectué avec un outil à disque et non pas avec un outil animé à dents (herse rotative), le nombre de passages de l'outil est doublé ;
- En absence de désherbage mécanique, un herbicide de large spectre est appliqué sur le colza (non utilisé dans la plaine) ;
- L'apport en engrais minéral est réduit pour tenir compte des rendements potentiels inférieurs dans les plateaux, par rapport à la plaine ;
- L'irrigation est absente.

La matrice technico-économique construite pour les plateaux est présentée en annexe 10.

### **III.2.1.2. Choix d'une méthode d'optimisation**

Plusieurs méthodes ont été envisagées pour générer des successions de cultures optimisées du point de vue économique sous contraintes PIC.

Une première approche a été explorée qui consiste à générer toutes les successions de cultures possibles dans un cadre défini de règles rotationnelles et agronomiques PIC, en utilisant soit un programme spécifique sous R soit le logiciel ROTAT (Dogliotti et al., 2003). La marge semi nette est ensuite calculée pour toutes les successions générées. Celles qui présentent les performances économiques les plus élevées sont sélectionnées. Dans le cas de ROTAT, certaines contraintes n'ont pas pu être intégrées, à savoir la fréquence minimum des cultures ou groupe de cultures. De plus, les résultats obtenus par le modèle ne permettent pas de reconstituer les rotations de cultures (non compatibilité entre le nombre de cultures de la rotation et la longueur de la rotation). Pour la programmation sous R une collaboration aurait été nécessaire pour aboutir à un outil spécifique à tester. Cette première approche a cependant plusieurs atouts. Toutes les situations possibles sont explorées et analysées. Par des filtres successifs (critères d'évaluation) on peut obtenir une ou plusieurs solutions acceptables susceptibles d'être confrontées à des types d'exploitation différents. Enfin une solution sub-optimale est envisageable par cette procédure. La difficulté sans doute contournable est le savoir-faire de programmation dans un langage élaboré. Nous n'avons pas retenu cette piste, en recherchant des outils d'optimisation plus directement utilisable en fonction de nos objectifs.

Un certain nombre d'outils reposant sur la Programmation Linéaire a donc été exploré. Certains auteurs ont utilisé l'outil ATOUPRIX, développé par ARVALIS et basé sur la Programmation Linéaire, pour générer des assolements performants économiquement et respectant des contraintes de Protection Intégrée (Munier-Jolain and Dongmo, 2011). L'avantage de cet outil est qu'il présente une interface facile à configurer. L'outil permet d'intégrer la plupart des contraintes agronomiques, mais nous n'avons pas pu intégrer des contraintes de surface relatives aux précédents culturaux. Sans l'intégration de cette contrainte, le modèle génère un assolement qui n'est pas cohérent, les surfaces de certaines cultures dépassant celles de leurs précédents. Cette difficulté nous a conduits à renoncer à

cette option. Une autre piste consiste à opter pour une Programmation Linéaire avec le solveur Excel. Malheureusement, le nombre de contraintes que le solveur peut intégrer est limité, ce qui nous a conduits à abandonner également cette option qui avait le mérite d'être facile d'emploi.

Nous avons exploré un autre outil nommé Co-click'eau (Reau et al., 2013). Il est développé dans le cadre du projet action 21 du plan Ecophyto 2013 pour la construction et l'évaluation à l'échelle d'un territoire de scénarios de changements de pratiques agricoles. L'outil présente 5 modes de conduite : intensif, raisonné, économe, économe + (protection intégrée) et AB (Agriculture Biologique) avec la possibilité de créer des modes de conduite personnalisés. Il permet de renseigner des matrices techniques qui est une base de données des résultats techniques, économiques et environnementaux des combinaisons (culture\*milieu\*conduite). La matrice est renseignée en termes d'indicateurs calculés à partir d'un itinéraire technique. Co-click'eau permet de créer des scénarios de changements de conduite et de faire de l'optimisation sous contraintes en définissant le critère d'optimisation (maximiser la marge) et les objectifs (ensemble des contraintes). Chaque scénario produit est constitué d'un assolement de culture\*conduite pour chaque milieu constitutif du territoire d'étude. Dans sa construction et ses résultats, ce modèle correspond assez bien à nos objectifs, mais ne permet pas facilement de prendre en compte l'aspect temporel de la rotation.

Un travail a été réalisé avec les collègues de l'INRA Grignon (Laurence Guichard et Emilia Chantre) dans le but d'ajouter un indicateur 'compteur de culture' de façon à pouvoir satisfaire les contraintes relatives aux surfaces des cultures par rapport aux précédents. Ce travail n'a pas abouti en raison de l'investissement en temps qu'il requiert pour reconfigurer le modèle.

Le logiciel GAMS a finalement été retenu. Cet outil, permettant de faire de la programmation mathématique (linéaire et non linéaire), offre plus de flexibilité pour intégrer l'ensemble des contraintes fixées. Il est présenté ci-dessous.

### III.2.1.3.Méthode de programmation mathématique et logiciel GAMS

La programmation mathématique est un outil permettant de résoudre un problème dans lequel « une fonction objectif » doit être optimisée (maximisée ou minimisée) dans un cadre de contraintes fixées. Cette « fonction objectif » permet de déterminer la solution optimale parmi plusieurs solutions admissibles.

$$\begin{array}{ll} \text{Optimiser} & Z = f(X) \\ \text{sous les contraintes} & g_i(X) \leq 0 \quad \text{pour tout } i \\ & x_j \geq 0 \quad \text{pour tout } j \end{array}$$

où  $x$  est le vecteur des variables de décision,  $f(X)$  est la fonction objectif et  $g_i(X)$  sont les contraintes.

La programmation mathématique linéaire n'est qu'un cas particulier des modèles de programmation mathématique où 'la fonction objectif ' et les contraintes sont spécifiées de manière linéaire par rapport aux variables de décision.

La planification des cultures est souvent formulée comme un problème de programmation linéaire (Itoh et al., 2003, Kein Haneveld and Stegeman, 2005). L'avantage de

cette méthode est de fournir un cadre de contrainte qui permet de restreindre le champ du possible.

Les méthodes de programmation linéaire sont très utilisées en économie agricole pour la gestion des exploitations agricoles. Il s'agit généralement de maximiser le profit ou l'utilité de l'agriculteur, ou minimiser les coûts de production sous un ensemble de contraintes économiques (par exemple la disponibilité des facteurs de production), agronomiques (la rotation des cultures, les apports minimaux d'intrants), et environnementales (par exemple la qualité de l'eau et du sol, les émissions de GES...).

GAMS (General Algebraic Modeling System) est un langage de modélisation permettant de résoudre des problèmes d'optimisation sous contraintes. Le logiciel contient différents solveurs permettant de résoudre des modèles de programmation linéaire, non linéaire ou mixte. L'écriture du modèle est concise, se fait avec un éditeur de texte en utilisant les facilités de la notation mathématique. Toutes les données peuvent être introduites sous forme de listes ou de tableaux, séparément des équations. Après résolution du problème, GAMS génère un fichier de sortie contenant les solutions (Brooke et al., 1998).

#### **III.2.1.4. Simulation de plusieurs scénarios de prix et hypothèse de travail**

Pour les besoins de la modélisation, le problème est présenté de la façon suivante : L'agriculteur dispose d'une surface de 130 ha (surface moyenne par UTH (unité de travail homme) dans les exploitations de grandes cultures en Bourgogne, cf. Granger et al., 2006). Nous souhaitons rendre compte de l'aspect spatial et temporel de la rotation des cultures, et satisfaire la condition selon laquelle les cultures de l'année  $n$  doivent être les précédents des cultures de l'année  $n+1$ . Nous considérons alors que la SAU est répartie en 6 parcelles de surfaces égales et que la succession que nous cherchons à optimiser a une longueur de six années (six « horizons de planification »). La durée de six années correspond à un compromis acceptable permettant un niveau de diversification des cultures compatibles avec les principes de Protection Intégrée. L'adoption d'un nombre de parcelles également de six permet de simplifier l'écriture des équations.

L'agriculteur est confronté à une multitude de risques. Certains affectent directement la rentabilité comme la volatilité des prix et la variabilité du rendement liée aux aléas climatiques et la pression biotique (Bowman and Zilberman, 2013). L'aversion au risque des agriculteurs se traduit par des choix techniques qui permettent d'assurer un compromis entre la performance moyenne et la variabilité de cette performance. Le contexte économique par exemple détermine largement le choix des agriculteurs concernant les cultures, les successions de cultures ainsi que des pratiques culturales (Boiffin et al., 2001). Pour simplifier la modélisation, nous faisons l'hypothèse que l'agriculteur est neutre face à ces risques, c'est-à-dire qu'il raisonne ses pratiques sur les performances moyennes des cultures sans tenir compte des variations interannuelles (Munier-Jolain and Dongmo, 2011).

Les prix des intrants et des produits agricoles varient considérablement d'une année à une autre. Cette fluctuation est due à plusieurs facteurs (aléas climatiques, comportements des acteurs agissant sur le marché). Au moment de la conception d'un système de culture, il y a une incertitude sur l'évolution des prix au cours des années suivantes. Dans notre cas, nous

avons simulé dix scénarios de prix des intrants et des produits agricoles. Dans chacun de ces dix scénarios, les prix restent cependant constants au cours du temps, ce qui rend compte du fait que la conception d'un système de culture est raisonnée au regard d'un seul scénario. Ces dix scénarios de prix permettent de générer dix assolements différents.

### III.2.1.5. Critères optimisés et cadre des contraintes de PI

Le choix final d'une succession de cultures est d'abord une décision de gestion basée sur une volonté d'optimiser des objectifs qui peuvent être financiers (par exemple maximisation du profit), agricoles/agronomiques (maximiser le rendement) ou environnementaux (minimiser l'utilisation des intrants) (Castellazzi et al., 2008). Dans notre travail, l'hypothèse de travail est celle de la réduction importante du niveau d'usage de pesticide par l'adoption des principes de protection intégrée. La réduction d'usage de pesticide est donc ici considérée comme une contrainte, traduite par les contraintes des règles de Protection Intégrée. Dans ce cadre de contrainte, l'objectif de l'agriculteur est de maximiser la rentabilité économique. La « fonction objectif » retenue pour la génération de succession culturale est celle de la maximisation de l'indicateur économique 'marge semi-nette'.

La formulation algébrique de notre « fonction objectif » est la suivante :

Maximiser

$$Z = \sum_{c,pc,hp} M_{c,pc,hp} X_{c,pc,hp}$$

**Où** Z: Marge semi-nette à l'échelle du système de culture

X: Surface de chaque activité de production (= chaque culture de la rotation)

c : Culture de l'année n

pc : précédent cultural

hp : horizon de planification

$M_{c,pc,hp}$ : Marge semi-nette par activité de production et par horizon de planification

Les contraintes introduites dans le modèle de programmation linéaire sont de différentes natures. Il y a tout d'abord les contraintes liées à la PIC. En effet, les rotations de cultures sont déterminées par un certains nombres de règles agronomiques qui sont plus nombreuses dans le cadre de la production intégrée que dans les systèmes à forts intrants (Munier-jolain & Dongmo, 2011). Les règles fixées pour définir les rotations de cultures sont les suivants :

- Au moins 1/6 de semis d'automne précoce
- Au moins la moitié de semis d'automne tardifs
- Au moins 1/6 de légumineuses
- Au moins 1/6 de semis de printemps
- Au moins 1/6 de semis de printemps tardif (cultures d'été)
- Au moins 1/3 de la surface cultivée en blé tendre d'hiver
- Au moins 1/6 de culture rustique : chanvre et le triticale

Ces règles permettent de diversifier les dates de semis dans le but de perturber le cycle de développement des adventices. Les cultures d'automne restent néanmoins dominantes. En effet on considère que les adventices à levée automnale sont plus affectés par la diversification des successions du fait qu'elles sont moins persistantes dans le stock semencier que les adventices de printemps (Munier-Jolain and Dongmo, 2011).

Intégrer les légumineuses dans les successions permet d'améliorer la disponibilité de l'azote dans le sol. La culture du colza, quant à elle, est susceptible de mieux concurrencer les adventices. Le blé tendre est considéré comme une culture importante pour la Bourgogne, région productrice et exportatrice de blé de qualité, dont la production ne doit pas être trop affectée dans le cadre d'un passage généralisé à la Protection Intégrée.

D'autres contraintes ont été introduites liées aux précédents culturels. Les successions de cultures impossibles ont été identifiées se basant sur (i) le calendrier cultural (impossibilité de semer du colza après un maïs ou un tournesol) (ii) l'effet indésirable du précédent par rapport aux bioagresseurs. En effet, cultiver la même espèce, voire la même famille, deux années de suite augmente le risque d'apparition de certaines maladies et la prolifération des adventices spécialisées (risque de fusariose et de piétin verse pour un blé sur blé). Les précédents possibles pour chaque culture candidate sont illustrés dans l'annexe 7.

Il existe également une contrainte de surface disponible. Nous avons considéré une exploitation moyenne de 130 ha. La somme des superficies des cultures générées par le modèle ne doit donc pas dépasser 130. La surface du précédent cultural doit être supérieure ou égale à la surface du couple culture-précédent.

**Formulation mathématique des contraintes introduites dans le modèle GAMS**

$$\text{Contrainte de terre : } \sum_{c,pc} X_{c,pc,hp} \leq SURFTOT^*$$

$$\text{Contrainte de surface en culture d'automne tardif : } \sum_{c,pc} X_{Caut.prec,pc,hp} \geq 1/6 \text{ SURFTOT}$$

$$\text{Contrainte de surface en céréales d'hiver : } \sum_{c,pc} X_{Ccere.hiv,pc,hp} \geq 1/2 \text{ SURFTOT}$$

$$\text{Contrainte de surface en légumineuses : } \sum_{c,pc} X_{Cleg,pc,hp} \geq 1/6 \text{ SURFTOT}$$

$$\text{Contrainte de surface en culture de printemps : } \sum_{pc,hp} X_{Cprint,pc,hp} \geq 1/6 \text{ SURFTOT}$$

$$\text{Contrainte de surface en blé : } \sum_{pc,hp} X_{Cble,pc,hp} \geq 1/6 \text{ SURFTOT}$$

$$\text{Contrainte de surface en culture rustique : } \sum_{pc,hp} X_{Crust,pc,hp} \geq 1/6 \text{ SURFTOT}$$

$$\text{Contrainte de surface du précédent cultural : } \sum_c X_{c,I,hp_n} \leq \sum_{pc} X_{I,pc,hp_{n-1}}$$

Contrainte sur les précédents proscrits : Exemple tournesol suivant un colza :

$$X_{(Tour';Colz';hp)} = 0$$

\*SURFTOT : surface agricole utile de l'exploitation

**III.2.2. Evaluation multicritère des systèmes de cultures actuels et PIC : critères et indicateurs d'évaluation**

**III.2.2.1. Caractérisation des systèmes de cultures actuels en Bourgogne**

Les systèmes de culture PIC générés par modélisation sont comparés aux systèmes de culture actuels pour les différentes performances. Il est donc nécessaire de les caractériser (succession et itinéraires techniques) dans les contextes de production de la plaine et des plateaux. Nous avons utilisé la classification en situations de production réalisée dans le chapitre précédent. Pour les deux situations de production, nous avons retenus les types de systèmes de culture qui représentent 2/3 de l'effectif. Nous avons ensuite caractérisé les itinéraires techniques situés au barycentre des différents niveaux d'intensification identifiés sur les sorties des analyses multivariées (cf. Chapitre II). De la même façon que pour les systèmes de culture PIC, les itinéraires techniques des systèmes actuels sont décrits de la récolte du précédent jusqu'à la récolte de la culture.

Tableau 4. Description des cinq systèmes de culture ‘types’ identifiés comme dominants dans la situation de production ‘la Plaine’

Succession de culture	Niveau d'utilisation d'intrant	Fréquence	IFT	Régime de travail du sol
Co-Bh-Oh	Faible	14%	3,69	-Travail superficiel du sol pour les 3 cultures (2 à 3 passages) -Labour systématique pour le colza et l'orge d'hiver
Co-Bh-Oh	Moyen	12%	5,05	-Travail superficiel pour toutes les cultures (3 à 4 passages)
Co-Bh-Oh	Élevé	17%	6,30	-Labour systématique pour le blé -Travail superficiel pour le blé et le colza (1 passage) -Travail du sol profond pour l'orge d'hiver (2 passage)
Co-Bh-Tr-Bh-Oh	Faible	12%	2,74	-Toutes les cultures labourées -Travail superficiel du sol pour les 3 cultures (1 à 3 passages) -Déchaumage et binage du tournesol
Co-Bh-Oh-Bh-Tr-Bh	Élevé	12%	4,40	-Déchaumage tournesol -Travail superficiel pour le blé et le colza et le tournesol (1 passage) -Travail du sol profond pour l'orge d'hiver (2 passage)

Co : Colza ; Bh : Blé tendre d'hiver ; Oh : Orge d'hiver ; Tr : Tournesol

Les matrices technico-économiques détaillant l'itinéraire technique des différentes cultures des systèmes actuels dominants dans la Plaine et les Plateaux sont présentées respectivement dans les annexes 9 et 10.

Les systèmes de culture actuels proviennent de l'enquête réalisée par le SSP en 2006. Les rendements des cultures sont de la même année. Les produits commerciaux pour les différents intrants sont ceux disponibles pour l'année 2006, d'où la présence dans certains cas de matières actives qui ne sont plus homologuées.

Les systèmes de culture retenus pour la plaine et les plateaux sont respectivement décrits dans les tableaux 4 et 5.

Tableau 5. Description des trois systèmes de culture ‘types’ identifiés comme dominants dans la situation de production ‘Plateaux’

Succession de culture	Niveau d'utilisation d'intrant	Fréquence	IFT	Régime de travail du sol
Co-Bh-Oh	Faible	19%	2,74	-Travail superficiel pour toutes les cultures (1 à 3 passages) -Labour du blé et de l'orge d'hiver
Co-Bh-Oh	Moyen	34%	5,23	-Travail superficiel pour toutes les cultures (3 à 4 passages) -Labour du blé et de l'orge d'hiver
Co-Bh-Oh	Élevé	16%	6,79	-Travail superficiel du sol (1 à 4 passages) -Travail superficiel du sol (1 à 3 passages) - Labour de l'orge d'hiver

Co : Colza ; Bh : Blé tendre d'hiver ; Oh : Orge d'hiver

### III.2.2.2. Critères et indicateurs d'évaluation

Pour évaluer la durabilité des systèmes de culture, nous avons choisi de calculer des indicateurs simples non agrégés pour les différentes dimensions de la durabilité. Le choix des critères et des indicateurs d'évaluation dépend de la nature des données dont nous disposons. Le niveau d'usage de pesticides n'est pas directement un indicateur de performance économique, sociale ou environnementale. Cependant, dans le contexte du plan Ecophyto préconisant la réduction du recours aux produits phytosanitaires, ce critère est considéré comme un élément de la performance des systèmes de culture. Nous détaillons pour chaque composante les indicateurs retenus.

#### III.2.2.2.1. Niveau d'utilisation des pesticides et impact environnemental

L'indice de fréquence de traitement (IFT) est un indicateur de pression utilisé pour caractériser le niveau d'usage des produits phytosanitaires. Il correspond à la somme des traitements appliqués, pondérés chacun par le rapport entre la dose utilisée par hectare et la dose d'homologation (Gravesen, 2003). Il est calculé à partir des enregistrements des traitements effectués à la parcelle et des doses homologuées dans la base de données e-phy du Ministère de l'Agriculture, de l'Agro-alimentaire et de la Forêt (Brunet et al., 2008). L'IFT est calculé par classe de produits : herbicides, fongicides, insecticides et autres pesticides (molluscicides, régulateurs), les traitements de semences ne sont en revanche pas toujours comptabilisés.

L'intérêt de l'IFT est de permettre d'agréger des substances très différentes, de prendre en compte la réduction de doses ainsi que les traitements sur une partie de la surface (intervention sur le rang ou en localisé) et de mesurer une pression phytosanitaire globale. (OECD 2001, Pingault et al., 2009). L'IFT permet d'apprécier l'intensité d'utilisation des

pesticides, néanmoins il ne permet pas d'évaluer l'impact de l'utilisation de ces produits sur l'environnement et notamment sur les ressources en eau.

Un autre indicateur est utilisé : l'indice I-Pest. C'est un indicateur agro-écologique basé sur un système expert utilisant la logique floue pour les fonctions d'appartenance et les règles de décision et calculé à la parcelle (Van der Werf and Zimmer, 1998). Il prend en considération 4 types de risques :

- Un risque d'entraînement vers les eaux souterraines par lessivage ;
- Un risque d'entraînement vers les eaux de surface par ruissellement ou par dérive ;
- Un risque de propagation vers l'air par volatilisation ;
- Un risque appelé dose qui considère la quantité de substance active. Plus la dose appliquée est élevée, plus le risque pour l'environnement est élevé.

Cet indice intègre les matières actives des produits commerciaux, leurs propriétés (persistance et toxicité) ainsi que les conditions de leurs application (dose, niveau de couverture végétale, enfouissement éventuel). Les caractéristiques du milieu telles que la texture du sol, la pente, la proximité à un cours d'eau sont également considérées dans le calcul de l'indice.

L'indice I-Pest est apprécié sur une échelle de 0 (risque nul) à 1 (risque maximum) pour chaque matière active. Pour calculer cet indice à l'échelle de l'itinéraire technique, les valeurs par matière active ont été sommées. La moyenne des valeurs I-Pest pour chaque culture a été calculée pour apprécier l'indice à l'échelle du système de culture.

#### **III.2.2.2.2. Risque de perte de l'azote minéral dans l'environnement**

Le risque de pertes d'azote dans l'environnement est estimé en calculant la balance azotée globale à l'échelle du système de culture. Cet indicateur est plus adapté à notre étude que le bilan azoté qui est utilisé en prévisionnel pour raisonner la fertilisation et qui intègre un certain nombre de processus tels que la minéralisation de l'azote, qui sont difficiles à expliciter dans notre cas.

L'estimation du risque de pertes d'azote par la balance azotée globale nécessite certaines hypothèses. La première consiste à considérer que le système est à l'équilibre (stabilité du taux de la matière organique), c'est-à-dire que la quantité d'azote immobilisée ou libérée par organisation ou minéralisation de la matière organique est, à l'échelle pluriannuelle du système de culture, négligeable devant les pertes d'azote cumulées sur la même période. En effet, la balance azotée globale est difficile à interpréter dans le cas de déstockage volontaire d'azote ou à l'inverse de stratégie d'enrichissement du milieu en matière organique (CORPEN, 2006). La deuxième hypothèse concerne l'apport d'azote par les légumineuses dans le système (fixation de l'azote atmosphérique). Pour simplifier le calcul du bilan azoté (quantité d'N fournie par chaque légumineuse difficile à estimer), nous considérons que, dans le cas des cultures de légumineuses, la quantité d'N exportée par la récolte est égale à la quantité apportée par la fixation symbiotique.

Il s'agit d'une balance Entrée-Sortie d'azote. La quantité apportée d'azote correspond à l'apport de la fertilisation. La quantité d'azote en sortie correspond à la quantité exportée par les différents organes de la plante lors de la récolte. Pour calculer cette balance, il est donc

nécessaire de fournir les variables suivantes : la quantité de fertilisation apportée, la teneur en N de la fertilisation, les rendements en matière sèche (grains, pailles, plante entière), la teneur d'azote dans les organes de récolte (grains, pailles, plante entière). Ainsi la balance azotée s'exprime en kg N/ha, et est calculée de la façon suivante :

$$\sum_{\text{cultures}} \text{Quantité d'N apportée par la fertilisation} - \sum_{\substack{\text{cultures} \\ \text{récoltées en grain}}} \text{Rdt grain} * \text{teneur N grain} - \sum_{\substack{\text{cultures} \\ \text{pailles exportées}}} \text{Rdt paille} * \text{teneur N paille} - \sum_{\substack{\text{cultures récoltées} \\ \text{plante entière}}} \text{Rdt plante entière} * \text{teneur N plante entière}$$

### III.2.2.3. Performances énergétiques

Pour évaluer les performances énergétiques des systèmes de culture, nous avons choisi comme indicateur l'efficacité énergétique. Pour ce faire, la consommation en énergie des différentes interventions (pesticides, fertilisation, carburant, semences et mécanisation) a été calculée. Les variables nécessaires à ce calcul ainsi que leurs sources sont résumées dans le tableau 6.

La productivité énergétique est calculée en multipliant le rendement moyen de la culture (kg de matière sèche récoltée) par son pouvoir calorifique inférieur (PCI) (source : site Feedipidia ; phyllis2).

Tableau 6. Variables nécessaires au calcul des coûts énergétiques par type d'activité

Activité	Variables	Sources
Fertilisation	- Dose en fertilisants - Coefficient énergétique de chaque fertilisant (MJ/KG)	ADEME (2011) GES'TIM
Pesticides	- Dose en matière active (MA) -Coefficient énergétique de chaque classe de pesticide (MJ/KG de MA)	ADEME (2011)
Semences	- Dose de semis -Coefficient énergétique de chaque espèce (MJ/KG)	ADEME (2011)
Mécanisation	- Coefficient énergétique de chaque matériel agricole (MJ/KG) -Masse (Kg) et durée de vie théorique (années)	Guide DIATERRE BCMA
Carburant	- Consommation en fuel -Coefficient énergétique du fuel (MJ/L)	ADEME (2011)

#### **III.2.2.2.4. Rentabilité des systèmes de culture et robustesse face à la variabilité du contexte de prix et des rendements**

La rentabilité économique des systèmes de production est appréciée grâce à la marge semi-nette calculée à l'hectare. Elle est obtenue en déduisant du produit brut les charges opérationnelles (les produits phytosanitaires et les engrais, les semences, l'irrigation, le carburant) ainsi que les charges de mécanisation. Cette marge ne prend pas en compte les charges fixes (fermage, impôt, assurances), ni les charges de main d'œuvre. Les aides compensatoires de la PAC ne sont également pas considérées du fait qu'elles sont variables selon les départements et les exploitations agricoles, ce qui rend difficile la comparaison des systèmes entre eux.

Les prix de vente des matières premières agricoles (des cultures et des intrants) sont très variables d'une année à une autre. Pour prendre en compte cette variabilité dans le calcul de la marge semi-nette nous avons utilisé la typologie des scénarios de prix sur 10 années établie par Launais (2011). Un scénario de prix correspond au prix des cultures et des intrants pour un mois et une année donnée. La base de données des prix a été constituée à partir de plusieurs sources. Pour les cultures, ce sont principalement les coopératives, les chambres d'agriculture, Agreste et la DRAAF Bourgogne. Pour les intrants, la base de données Agreste (2011) a été mobilisée. On considère que seuls les prix de la fertilisation azotée et du carburant varient de façon importante d'une année à une autre. Les prix des produits phytosanitaires, des semences et de la fertilisation de fond fluctuant très peu, les prix ont été fixés pour le calcul des charges.

Le rendement moyen de chaque culture dans le contexte de la Plaine a été estimé en se référant aux rendements réalisés dans les essais systèmes d'Epoisses et en se basant sur les conseillers agricoles de la chambre d'agriculture. Ils ont également estimé un rendement minimum (année climatique difficile) et un rendement maximum (année climatique favorable) dans le but de caractériser la variabilité interannuelle du climat et d'évaluer par la suite la robustesse des systèmes de culture générés par la modélisation face à cette variabilité (Annexe 6).

Concernant les coûts de mécanisation, le matériel agricole a été sélectionné pour chaque intervention agricole. La base de données du BCMA (Bureau de Coordination du Machinisme Agricole), qui est utilisée comme référence pour le calcul des barèmes d'entraide, a été adoptée pour renseigner les paramètres nécessaires au calcul des coûts de mécanisation et du carburant (débit du chantier, poids du matériel).

Le coût des semences provient d'une synthèse nationale du Groupement National Interprofessionnel des Semences (Gnis) pour la campagne 2010/2011. Le prix des intrants phytosanitaires est tiré de la base de données « pesticides » du calculateur Criter (INRA, UMR Agronomie, Versailles-Grignon, 2010). Enfin, les coûts de fertilisation de fond sont obtenus à partir des statistiques Agreste, qui renseignent sur l'évolution du prix d'achat des fertilisants à échelle nationale sur la période 1997-2009.

Afin de pouvoir comparer les performances économiques des systèmes PIC (générés à partir de 10 scénarios de prix différents) avec celles des systèmes actuels, et pour tester la robustesse des systèmes à la variabilité des prix et des rendements, nous avons calculé, pour chaque système de culture, 30 marges semi-nette correspondant à 30 scénarios (Annexe 8).

Chaque scénario correspond à un tirage aléatoire d'un scénario de prix parmi les dix dont on dispose (Launais, 2011) et un niveau de rendement des cultures (faible, élevé, moyen) associé à un type d'année climatique (mauvaise, favorable ou moyenne). On distingue les cultures d'hiver, d'été et de printemps, étant donné que ces trois groupes de cultures ne réagissent pas de la même façon face aux aléas climatiques. Les cultures d'hiver sont connues pour être moins touchées par les stress hydriques. Elles sont par conséquent moins impactées dans nos scénarios par des conditions défavorables.

L'évaluation de la robustesse des systèmes de culture, définie comme la variabilité dans le temps des performances au regard de la variabilité de l'environnement, est évaluée sur la base de la sensibilité de la marge face à la variabilité des prix et des rendements. On cherche à identifier les systèmes capables de garantir à l'agriculteur un revenu stable et peu fluctuant dans le temps, en évitant autant que possible les accidents. On utilise trois indicateurs de robustesse :

- Le coefficient de variation de la marge semi-nette sur les 30 scénarios simulés. Cet indicateur permet de mesurer la dispersion des données autour de la moyenne. Il s'agit du ratio de l'écart-type rapporté à la moyenne et exprimé en pourcentage. Plus ce coefficient est grand, plus la dispersion de la marge par rapport à la moyenne est grande.
- La gravité des accidents dus à des années climatiques défavorables ou à un contexte de prix défavorable, évaluée par l'écart entre la marge semi-nette médiane et le 1<sup>er</sup> décile.
- La fréquence des accidents, évaluée par le nombre de fois où la marge est inférieure à un seuil de 70% de la marge médiane.

#### **III.2.2.2.5. Temps de travail et répartition de la charge de travail**

L'augmentation des charges de travail et l'organisation du calendrier des interventions peuvent représenter des freins à l'adoption de la production intégrée des cultures. La PI repose sur la combinaison de plusieurs techniques culturales. Le passage répété des outils de travail du sol et de désherbage mécanique augmente la complexité des systèmes et génère ainsi des difficultés de répartition du temps de travail et d'organisation qui ne sont généralement pas compensés par la réduction des traitements phytosanitaires. La diversification des rotations de culture permet en revanche d'étaler les périodes de travail dans le temps et d'atténuer les pics de travail (Pardo et al., 2010).

Le premier indicateur adopté pour comparer les systèmes de culture innovants aux systèmes actuels sur la question du temps de travail est le nombre d'heures totales de travail par hectare pour chaque système. La répartition du temps de travail par intervention permet d'identifier les opérations qui engagent le plus d'heures de travail. Cet indicateur seul ne permet pas d'évaluer la faisabilité des systèmes conduits en production intégrée. Pour analyser cet aspect, la répartition du temps de travail au cours de l'année a été évaluée pour tous les systèmes de culture, avec un pas de temps de 15 jours. Nous avons comparé le nombre d'heures disponibles par quinzaine déterminé à partir de la base de données sur les jours disponibles par type d'opération, disponible dans l'outil EQUIP'AGRO, logiciel dédié à la simulation de l'organisation du travail à l'échelle de l'exploitation, développé par la

Chambre Régionale d'Agriculture de Bourgogne et le réseau des CUMA, et paramétré pour la Bourgogne (Pardo et al., 2010).

A titre indicatif, des tests statistiques non paramétriques (test de Wilcoxon avec un seuil de significativité fixé à 5%) ont été réalisés afin de tester la significativité de la différence des systèmes intégré par rapport aux conventionnels pour chacun des indicateurs de performance.

### III.3. Résultats

#### III.3.1. Les simulations réalisées dans la zone de la Plaine

##### III.3.1.1. Assolements PIC générés par GAMS et description des successions de culture

Dix assolements de cultures PIC différents ont été générés avec le logiciel GAMS (Figure 11). Les successions culturales associées à ces assolements sont décrites dans le tableau 7 pour l'un des scénarios. Ces assolements respectent toutes les contraintes agronomiques et rotationnelles intégrées dans le modèle. Les assolements générés sont diversifiés, ils présentent néanmoins quelques similitudes. Les cultures d'hiver représentées par le blé tendre, le colza et le triticale sont dominantes dans tous les assolements. Le blé est la culture la plus dominante, ce qui est attendu vu la formulation des contraintes rotationnelles. L'orge d'hiver est très peu présente dans les assolements de cultures. Sa surface la plus importante correspond au système PIC10 en lien avec le prix de vente de cette culture qui est plus important en valeur relative dans ce scénario de prix que dans les autres.

La moutarde d'hiver fait partie du groupe des cultures de semis d'automne précoce avec le colza. Le prix de vente des graines de moutarde est beaucoup plus élevé que le prix du colza, presque le double. Néanmoins la surface dédiée à cette culture est le plus souvent inférieure à celle du colza. En effet, le prix intéressant de la moutarde n'arrive pas à compenser les rendements faibles de cette culture en comparaison avec le colza et ceci pour la plupart des scénarios de prix.

Les légumineuses d'hiver sont absentes dans les assolements. Le pois et la féverole d'hiver ont les mêmes prix de vente et les mêmes rendements que les cultures de printemps qui prédominent dans les assolements. La priorité donnée aux légumineuses de printemps est probablement liée aux contraintes rotationnelles exigeant une part de cultures de printemps.

Pour les cultures de printemps, la féverole est présente dans tous les assolements associée parfois au pois et au lupin. Le prix de vente de cette culture est plus avantageux dans plusieurs scénarios sauf dans le scénario 6 où le prix diminue (159 €/t). Elle est donc remplacée par du lupin qui dans ce scénario de prix est la plus rentable parmi les cultures de printemps (360 €/t).

Les cultures d'été les plus fréquentes dans les assolements sont le chanvre et le maïs irrigué. Le chanvre est la culture la moins rémunératrice (prix moyen de 93€/t). Elle présente néanmoins la surface la plus importante, en raison de la règle rotationnelle imposée au modèle sur les cultures rustiques. Les rendements estimés pour le maïs irrigué sont élevés, associés à des prix de vente intéressants, ce qui justifie l'apparition de cette culture dans les assolements aux dépens du tournesol moins rentable et avec des rendements très faibles.

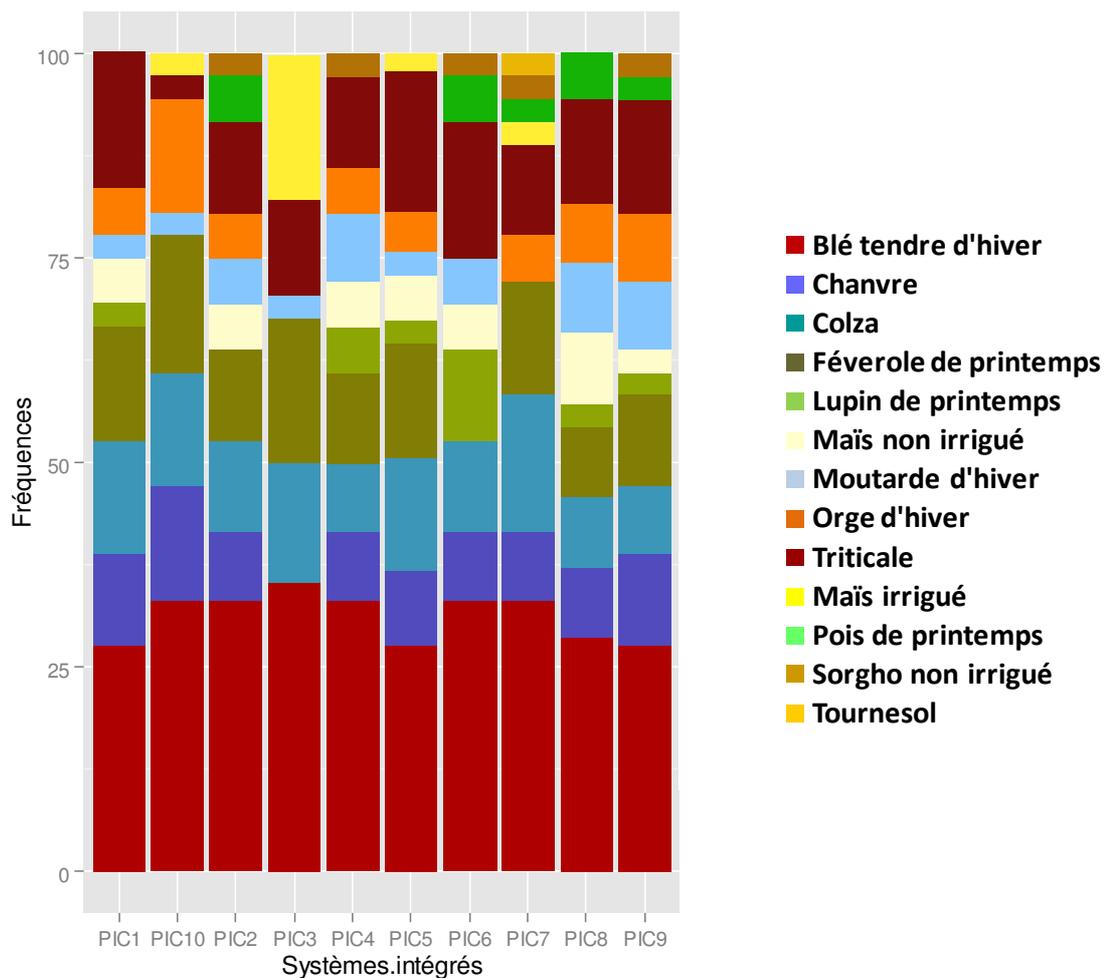


Figure 11. Assolements générés par PL avec le logiciel GAMS pour la Plaine

Tableau 7. Caractérisation des successions culturales pour les six parcelles du scénario PIC1.

SdC	Parcelle	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6
PIC1	P1	Blé d'hiver	Colza	Triticale	Féverole de printemps	Blé d'hiver	Maïs non irrigué
	P2	Chanvre	Blé d'hiver	Maïs non irrigué	Chanvre	Blé d'hiver	Colza
	P3	Colza	Triticale	Lupin de printemps	Blé d'hiver	Colza	Triticale
	P4	Féverole de printemps	Blé d'hiver	MoutH	Orge d'hiver	Chanvre	Blé d'hiver
	P5	Triticale	Chanvre	Blé d'hiver	Colza	Orge d'hiver	Féverole de printemps
	P6	Triticale	Féverole de printemps	Blé d'hiver	Triticale	Féverole de printemps	Blé d'hiver

### **III.3.1.2. Niveau d'utilisation des pesticides : Analyse des indices de fréquence de traitement et des indices I-Pest**

La comparaison des IFT calculés pour les systèmes actuels et les systèmes PIC montre une nette diminution de l'utilisation des produits phytosanitaires dans les systèmes conduits en PI (Figure 12).

Les systèmes PIC affichent un IFT total moyen de 1,7, avec une variabilité très faible entre les 10 scénarios testés, beaucoup plus faible que celle des systèmes actuels. Les systèmes actuels ont un IFT total qui varie entre 2,7 (système avec tournesol et céréales d'hiver, faibles intrants) et 6,3 (Colza-Blé-Orge, forts intrants).

La production intégrée des cultures a permis de réduire nettement la dépendance à tous les pesticides et particulièrement aux herbicides. En effet, beaucoup de leviers qui sont mobilisés concernent la gestion des adventices (diversification des dates de semis, faux semis, labour, désherbage mécanique). Cependant, la baisse des IFT concerne aussi les insecticides (en lien avec la plus faible fréquence du colza) et les fongicides, en lien avec les semis tardifs des céréales, les variétés peu sensibles envisagées.

L'indice I-Pest des systèmes de culture PIC est significativement et largement inférieur à celui calculé pour les systèmes actuels ( $p$ -value = 0.002647, tableau 8). Ceci est lié à la diminution du nombre de pesticides et, dans une moindre mesure, à la réduction des doses appliquées. En effet, certains herbicides ont été utilisés uniquement en localisé sur les zones infestées par certaines espèces (i.e. anti chardons et anti gaillets).

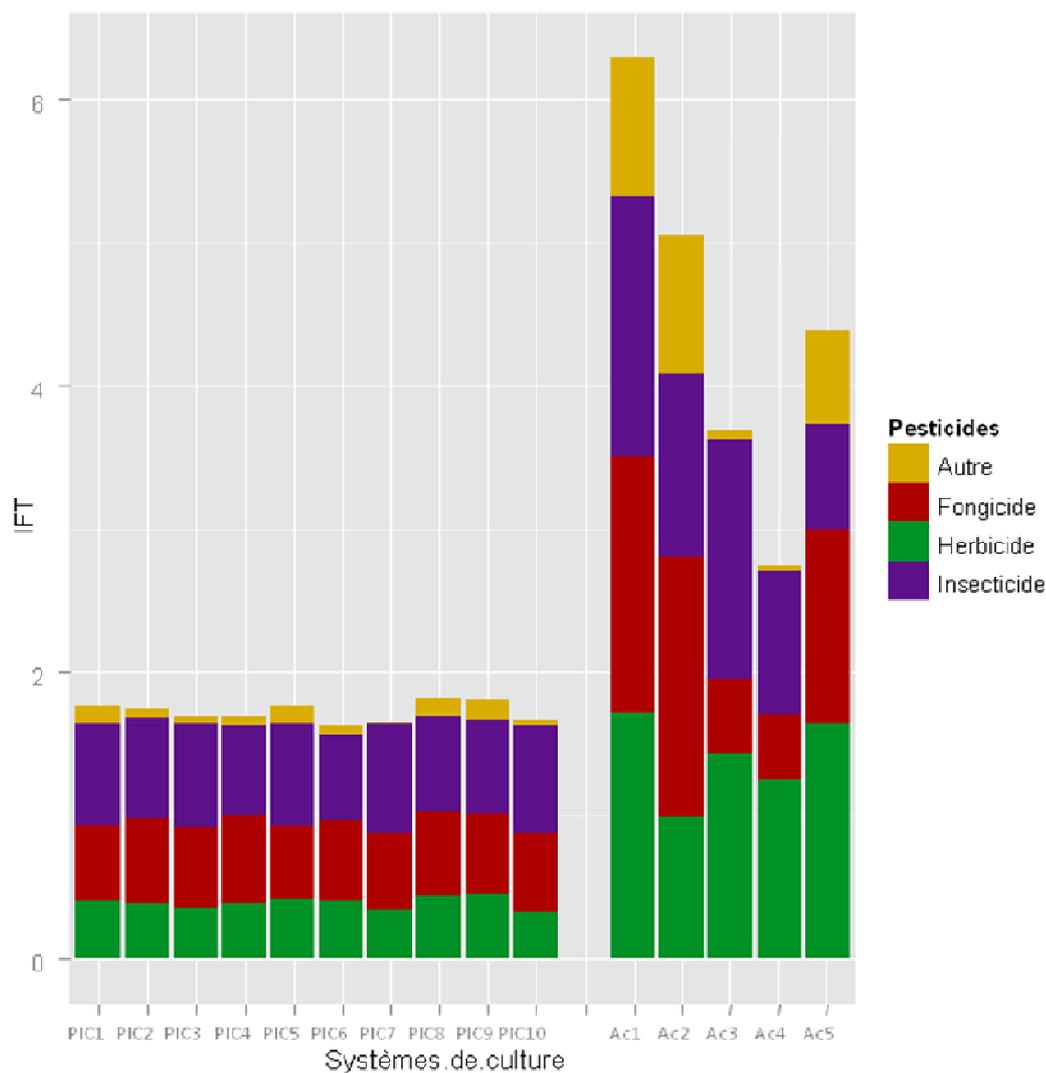


Figure 12. Indice de fréquence des traitements (IFT) calculés pour les systèmes actuels et les systèmes conduits en production intégrée dans la plaine

Tableau 8.Indices I-Pest calculés pour les systèmes actuels et les systèmes PIC pour les situations de 'La Plaine'

	Systèmes PIC										Systèmes actuels				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ac1	Ac2	Ac3	Ac4	Ac5
<b>I-Pest</b>	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,8	0,6	0,7	0,7	0,6	1,4	2,25	2,0	1,1	1,8

### III.3.1.3. Performances énergétiques des systèmes PIC et actuels

L'efficacité énergétique des systèmes PIC est en moyenne de 5,5, plus élevée que celle des systèmes actuels, qui varie entre 4,1 et 5,2, avec une moyenne de 4,6.

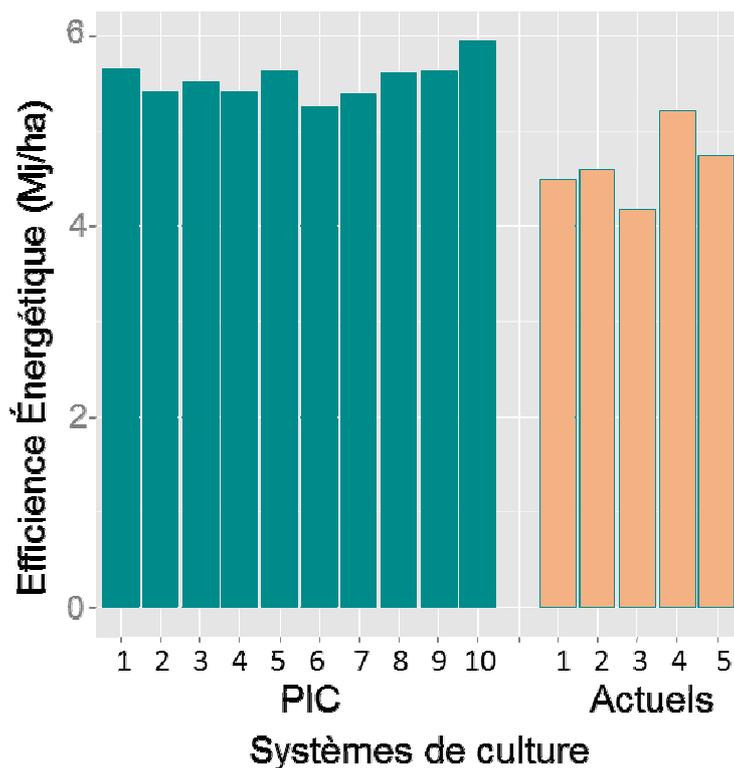


Figure 13. Efficacité énergétique des systèmes de culture PIC et actuels dans la Plaine

La productivité, exprimée en énergie récoltée par ha varie pour les systèmes PIC d'environ 95.000 MJ/ha à environ 104.000 MJ/ha (Figure 14). Elle est en moyenne plus faible que pour les systèmes de culture actuels de l'ordre de 7%. Cette baisse de productivité peut être expliquée d'une part par l'introduction de culture de printemps dont le cycle cultural est plus court que celui des cultures d'hiver plus fréquentes dans les systèmes actuels, d'autre part par les objectifs de rendement modérés pour le blé, en lien avec les semis tardifs.

Cependant, la consommation énergétique des systèmes PIC, peu variable entre les scénarios simulés, est également inférieure à celle des systèmes actuels (Figure 15). Les postes les plus énergivores pour les deux types de systèmes de culture sont la fertilisation, puis la mécanisation et le fuel. Avec la production intégrée, la consommation énergétique liée aux engrais est réduite d'environ 23 % par rapport aux systèmes actuels. Les coûts énergétiques des pesticides déjà faibles dans les systèmes actuels sont quasi négligeables dans le bilan énergétique des systèmes de production intégrée.

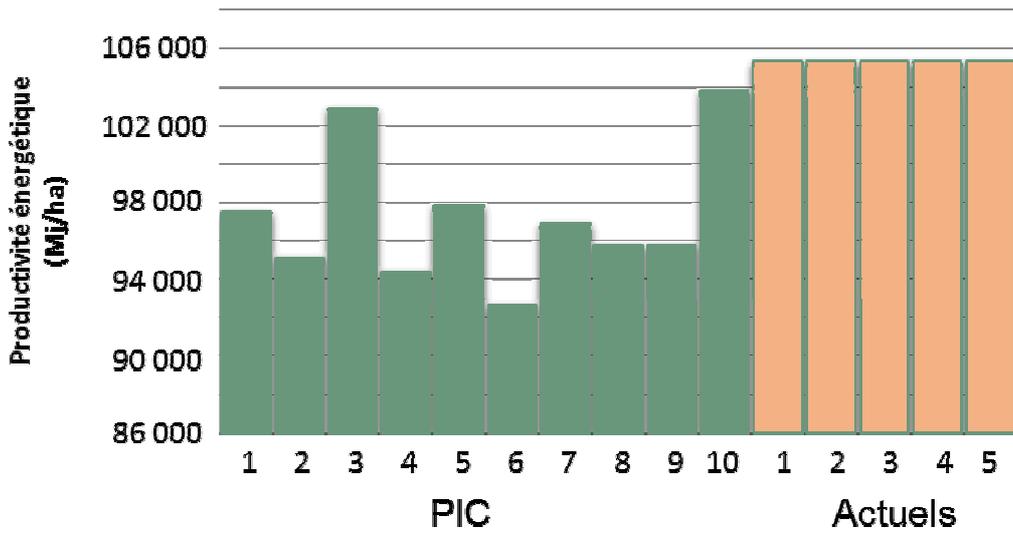


Figure 14. Productivité énergétique des systèmes de culture PIC et actuels dans la Plaine

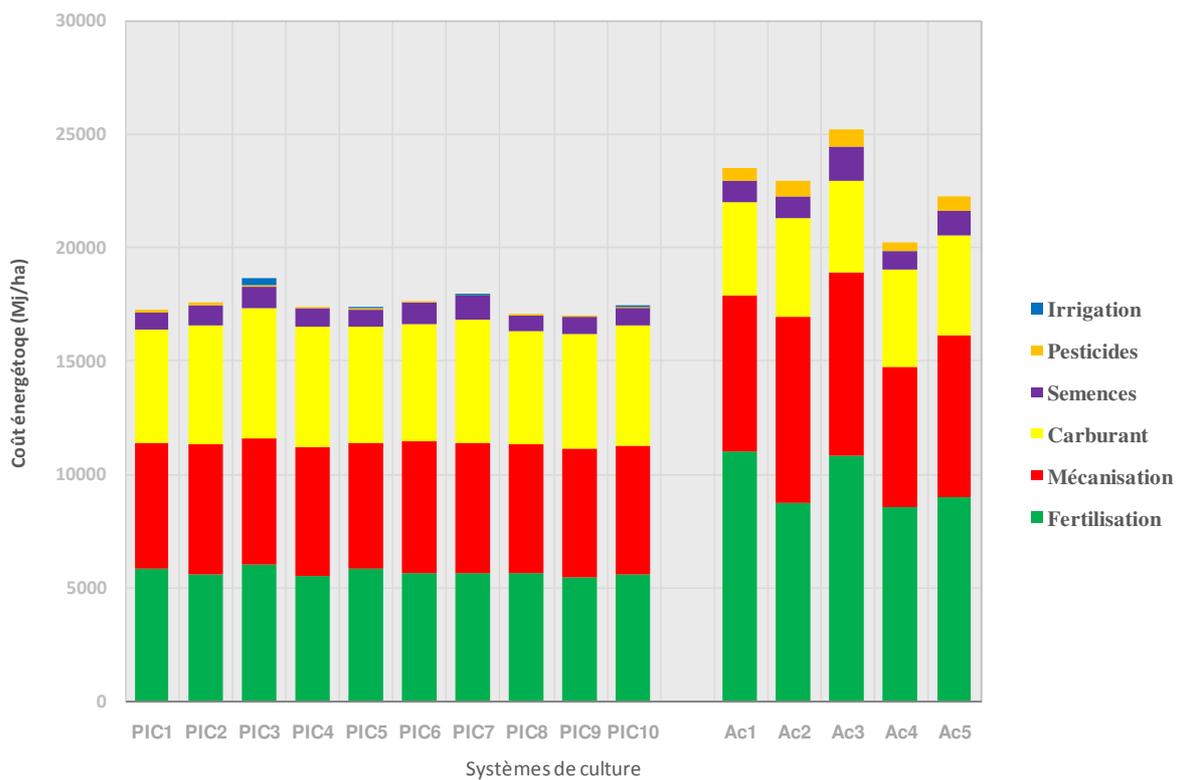


Figure 15. Coûts énergétiques (Mj/ha) détaillés pour tous les types d'interventions pour les systèmes PIC et actuels dans la Plaine

### III.3.1.4. Balance azotée et risque de contamination des ressources en eau avec l'azote minéral

La balance azotée est positive aussi bien pour les systèmes intégrés que les systèmes conventionnels (Figure 16). Elle reste néanmoins largement inférieure dans le cas des systèmes conduits en PI. Le différentiel entre systèmes actuels et PIC varie entre 15 et 70 unités. Sous hypothèse de systèmes à l'équilibre (c'est-à-dire que les évolutions à long terme de teneur en azote organique sont négligeables devant les pertes d'azote par lixiviation), les systèmes PIC constituent un risque moins important de contamination des ressources de l'environnement (eau et air) par l'azote. En effet, le surplus d'azote apporté non exporté par la récolte risque de partir dans les ressources en eau ou de se volatiliser dans l'air. L'hypothèse d'équilibre à long terme n'exclue pas des évolutions temporaires du stock des matières organiques susceptibles de se minéraliser avec un risque supplémentaire lors des périodes climatiques favorables à la minéralisation, contribuant ainsi au risque de pollution de l'environnement (Benoît, 1992).

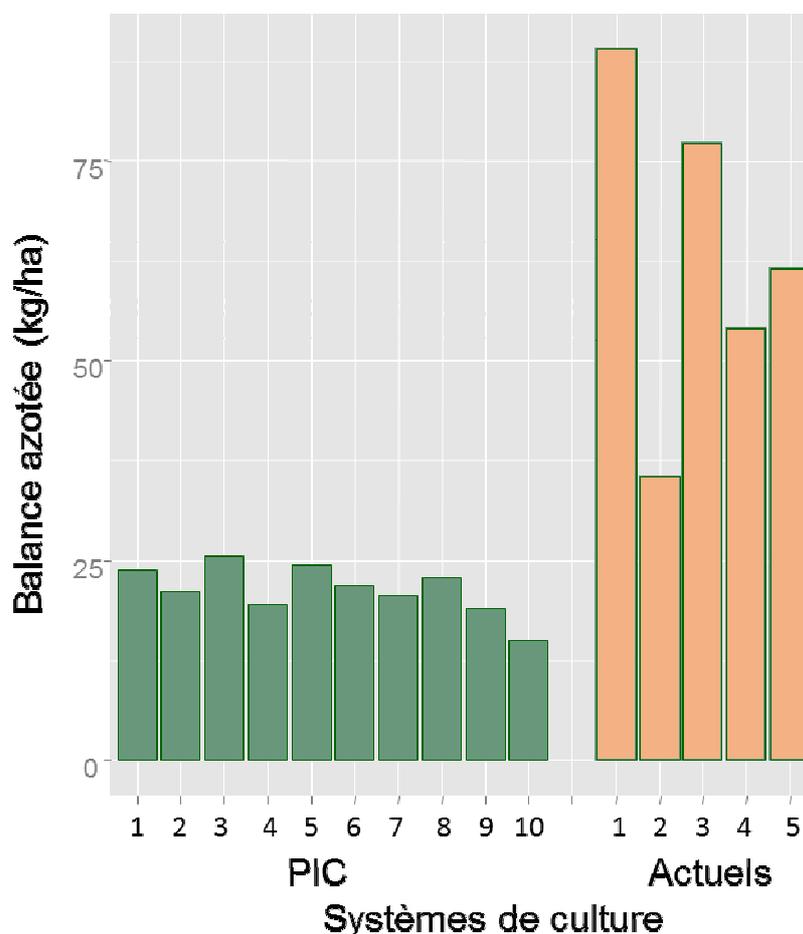


Figure 16. Balance azotée calculée pour les systèmes PIC et actuels dans la Plaine

### III.3.1.5. Rentabilité économique et robustesse des systèmes de culture face à la variabilité des prix et des rendements

#### III.3.1.5.1. Analyse de la rentabilité des systèmes de culture PIC et actuels

La figure 17 illustre la variabilité de la marge semi-nette pour les 30 scénarios combinant la variabilité des prix et celle du rendement. La médiane des systèmes PIC est significativement supérieure à celle des systèmes actuels (p-value = 0.008). Le test statistique comparant la marge des systèmes PIC et actuels (test de Wilcoxon) a été réalisé pour les 30 scénarios. Pour 70% des scénarios, les systèmes PIC sont significativement plus rentables que les systèmes actuels. Dans 10 % des scénarios, les distributions de marge ne se distinguent pas, et les systèmes PIC ne génèrent des marges significativement inférieures aux systèmes actuels que dans 20% des scénarios.

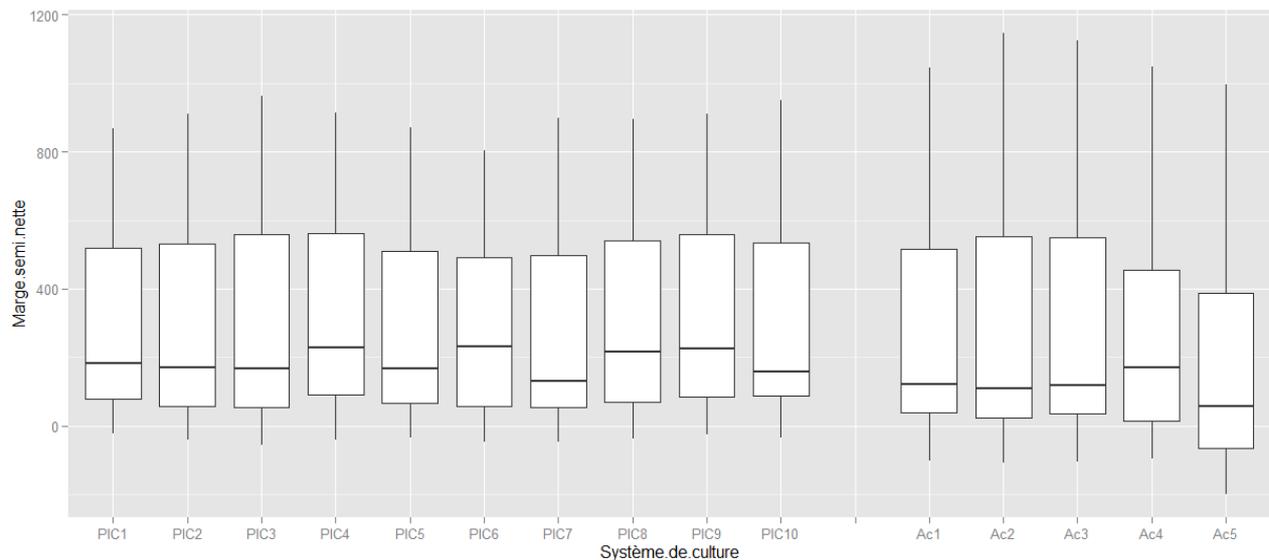


Figure 17. Variabilité de la marge semi-nette pour les 30 scénarios de prix et de rendement pour les systèmes PIC et actuels dans la plaine

#### III.3.1.6.1. Analyse de la robustesse des systèmes de culture PIC et actuels

Le tableau 9 présente les indicateurs de la gravité et la fréquence des accidents. Le coefficient de variation de la marge semi-nette varie de 85 à 105 pour les systèmes PIC, alors qu'il est supérieur variant de 127 à 189 pour les systèmes actuels. L'écart entre la valeur médiane de la marge et le 1<sup>er</sup> décile est significativement plus important pour les systèmes actuels que pour les systèmes PIC (p-value = 0.001). La fréquence des accidents pour un seuil de 70% est inférieure pour les systèmes de culture PIC (p-value = 0.014). Ceux-ci sont donc plus robustes aux aléas climatiques et la variabilité des prix de vente. En effet, en diversifiant les successions de cultures, les systèmes de cultures sont moins affectés par les accidents liés à une baisse des prix de vente des cultures et des intrants ou à une mauvaise année climatique.

L'introduction des légumineuses dans la rotation permet de réduire la fertilisation azotée dans les systèmes de culture qui sont en conséquence moins dépendants du contexte de prix fluctuant des intrants (Lechenet et al., 2014). De plus, les cultures d'hiver et les cultures de printemps ne sont pas affectées de la même façon par les aléas climatiques.

Tableau 9. Calcul des indicateurs d'évaluation de la robustesse des systèmes de culture : Gravité et fréquences des accidents (seuil de 70% de perte), coefficient de variation de la marge semi-nette calculée

Systèmes	Marge médiane (€ /ha)	Ecart Méd-1 <sup>er</sup> décile (€ /ha)	Fréquence des accidents (%)	Coefficient de variation (%)
<b>PIC1</b>	181	154	16,7	90
<b>PIC2</b>	171	162	20	95
<b>PIC3</b>	165	187	26,7	104
<b>PIC4</b>	228	185	20	87
<b>PIC5</b>	168	154	20	94
<b>PIC6</b>	231	212	33	89
<b>PIC7</b>	131	143	23	105
<b>PIC8</b>	217	187	20	89
<b>PIC9</b>	226	180	16,7	85
<b>PIC10</b>	159	131	16,7	96
<b>Ac1</b>	122	224	26,7	127
<b>Ac2</b>	111	208	26,7	133
<b>Ac3</b>	120	226	26,7	130
<b>Ac4</b>	170	223	30	120
<b>Ac5</b>	58	213	36,6	189

### III.3.1.6. Temps de travail et répartition de la charge du travail

La figure 18 illustre le temps de travail en heure par hectare ainsi que sa répartition par intervention pour les systèmes de culture PIC et actuels. Les systèmes de culture PIC ont une charge de travail plus importante que les systèmes actuels, de l'ordre de 0,9 heures par ha en moyenne (soit une augmentation d'environ 15% du temps de travail mécanisé). Pour les deux types de systèmes de culture (PIC et actuels), le semis, la moisson ainsi que le travail du sol engage une charge de travail importante. Les systèmes de culture PIC se distinguent des systèmes de culture actuels par la présence du désherbage mécanique et l'augmentation significative du nombre d'heures de travail des interventions de déchaumage, de binage et de broyage, que ne compense pas la réduction importante du temps consacré aux traitements phytosanitaires.

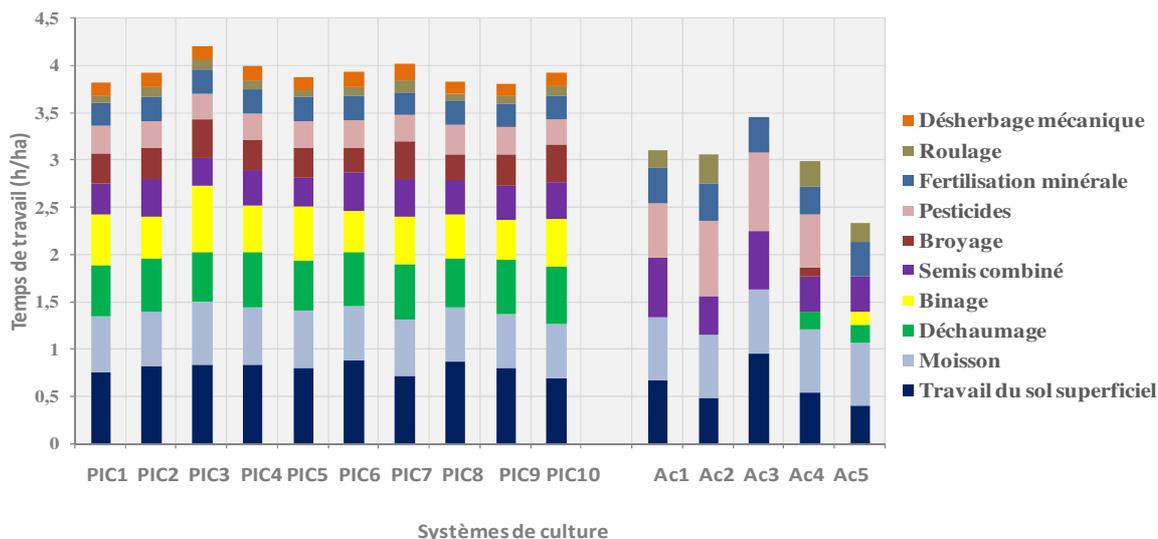


Figure 18. Répartition du temps de travail par intervention (h/ha), détaillée pour les systèmes de culture PIC et actuels dans la Plaine

L'organisation de la charge de travail est également un aspect important à prendre en compte pour évaluer la faisabilité des systèmes de culture en termes d'organisation du calendrier cultural. Pour évaluer cet aspect nous avons comparé la répartition de la charge du travail par quinzaine pour les différents systèmes de culture.

La figure 19 montre que cette répartition est sensiblement la même pour les dix systèmes PIC. Les pics qui surviennent pendant les dix premières quinzaines sont associés au travail du sol des cultures d'été (1<sup>ère</sup> quinzaine de février), aux opérations de fertilisation et de traitements phytosanitaires des cultures d'hiver (deux quinzaines de mars) ainsi qu'au semis des cultures d'été (deuxième quinzaine d'avril).

Il existe deux pics importants autour des 14<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> quinzaines correspondant respectivement à la récolte et au semis des céréales d'hiver. Ces deux types d'interventions engagent un nombre d'heures de travail important coïncidant avec d'autres opérations comme la fertilisation de fond et le travail du sol au moment de la moisson et avant l'installation des cultures suivantes.

Nous avons calculé le nombre d'heures de travail disponibles par quinzaine pour quatre grands types d'interventions : la récolte des céréales, la récolte du maïs et du tournesol, les apports d'engrais, les traitements pesticides ainsi que le travail du sol. La confrontation de la répartition de la charge du travail avec celle du nombre d'heures disponibles (figure 21) permet de se rendre compte que les deux pics de Q14 et Q20 dépassent largement le nombre d'heures disponibles pour l'agriculteur dans ces deux quinzaines ce qui questionne la faisabilité de ces systèmes de culture en terme d'organisation du calendrier cultural et aussi en terme de pénibilité du travail.

La comparaison de la répartition de la charge du travail du système de production intégrée moyen et du système colza-blé-orge intensif (Figure 20) montre que les récoltes de céréales d'hiver sont plus tardives dans le cas des systèmes PIC, ce qui peut être expliqué par la diminution de la fréquence du colza et de l'orge d'hiver dans les assolements, ces cultures

étant généralement récoltées plus tôt que le blé, fin juin ou tout début juillet. Les semis des céréales d’hiver sont également plus tardifs en production intégrée.

Les pics de travail des systèmes de culture actuels sont plus étalés et moins importants que ceux des systèmes de culture PIC. Ce résultat est étonnant étant donné que les successions culturales des systèmes actuels sont moins diversifiées. Il peut néanmoins être expliqué par l’augmentation du nombre des interventions de travail du sol juste avant le semis des cultures, pour détruire mécaniquement les plantules adventices levées dans l’interculture grâce aux opérations de faux-semis.

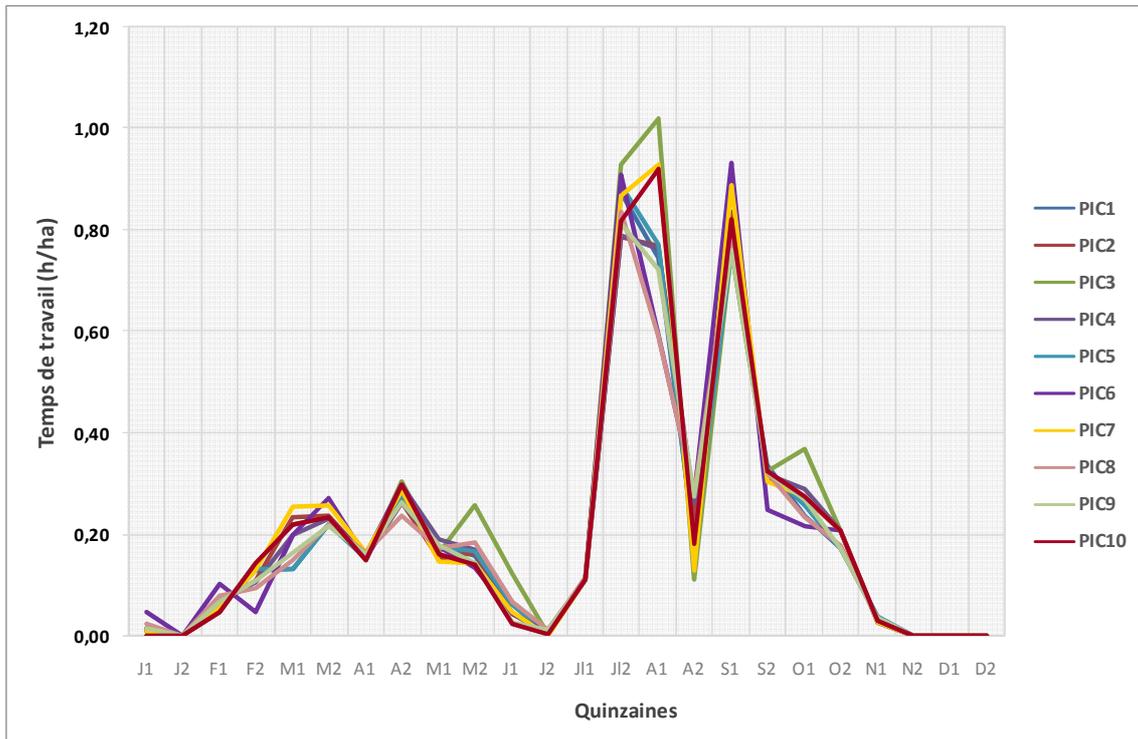


Figure 19. Temps de travail par quinzaine pour les dix systèmes PIC générés dans la plaine

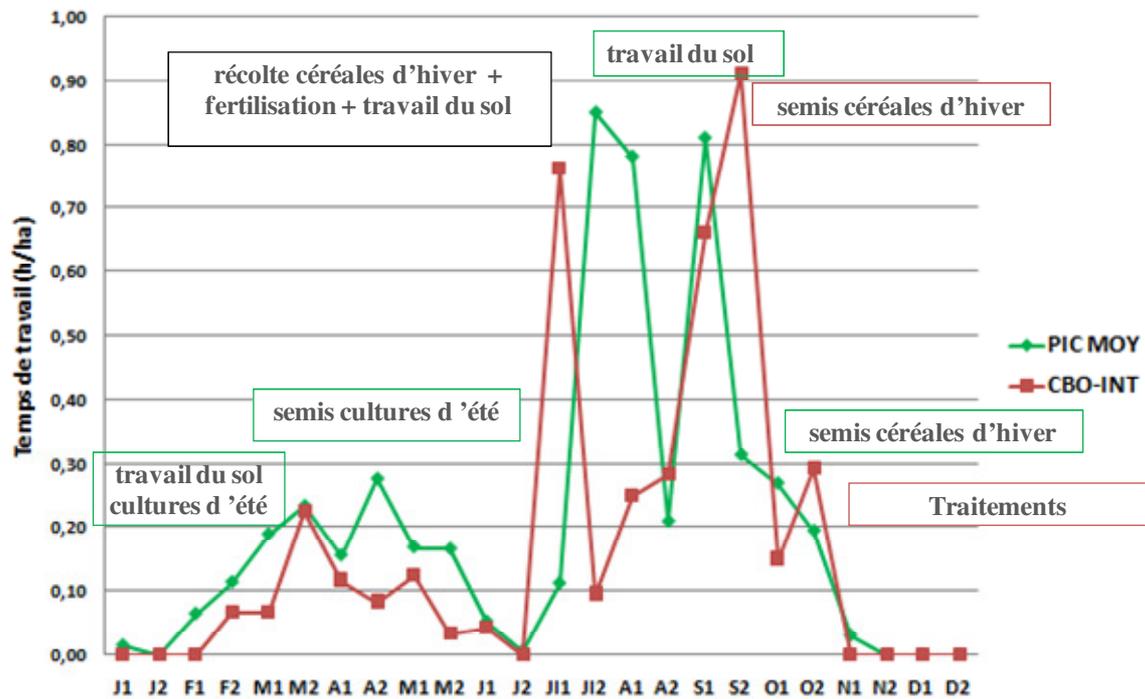


Figure 20. Distribution du nombre d'heures de travail par quinzaine détaillée pour un système PIC moyen et le système Colza-Blé-Orge fort intrant de la Plaine

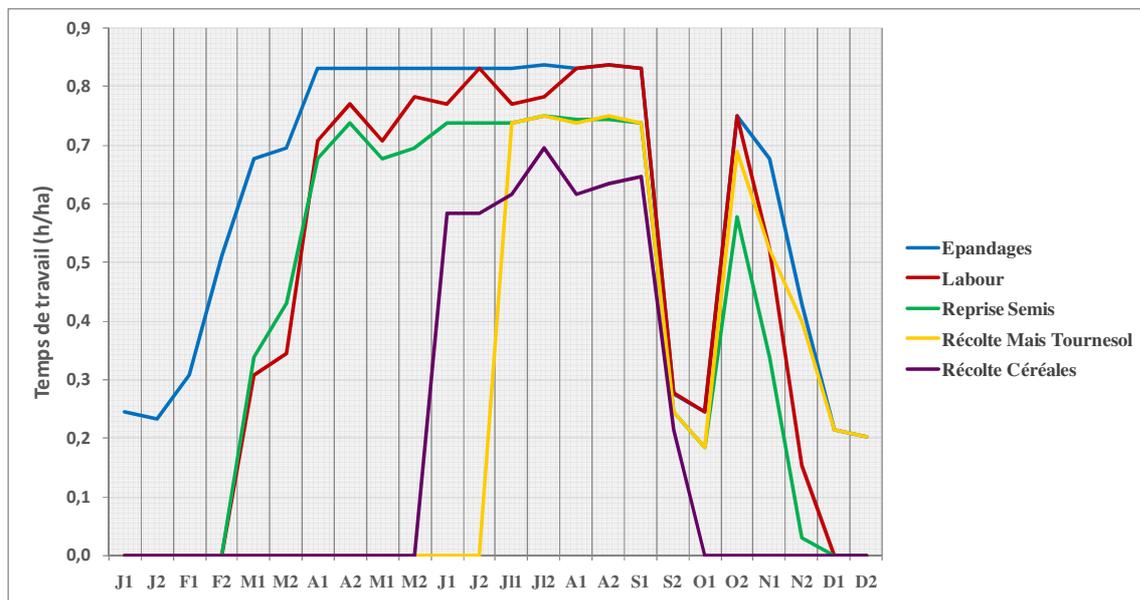


Figure 21. Nombre d'heures de travail disponibles par quinzaine pour les grands types d'intervention (h/ha). Source : Equip' Agro.

### III.3.1.7. Synthèse des performances des systèmes de culture de La Plaine

Une représentation graphique en radar de tous les indicateurs de performances pour les systèmes de culture en production intégrée et les systèmes actuels a été réalisée afin de mieux comparer les systèmes pour les différents critères de durabilité (Figure 22). Etant donné que les dix systèmes PIC sont très similaires pour la plupart des indicateurs, nous avons choisi de représenter un système PIC moyen (moyenne de la valeur de tous les indicateurs). La gamme de variation des systèmes de production intégrée est représentée. De même pour les systèmes conventionnels, le système actuel moyen et la gamme de variation des systèmes actuels sont représentés. La valeur des indicateurs du système actuel moyen est considérée comme une référence fixée à 100%, et tous les indicateurs pour le système PIC moyen ont été normalisés par rapport au système actuel moyen.

Les indicateurs que l'on cherche à maximiser sont la marge semi-nette et l'efficacité énergétique. Les autres indicateurs sont à minimiser.

L'évaluation multicritère montre que la production intégrée tend à améliorer la majorité des indicateurs de durabilité des systèmes de culture. Ces systèmes ont moins d'impacts négatifs sur l'environnement grâce à la diminution des intrants. Ils sont plus efficaces sur le plan énergétique malgré la diminution de la productivité. Contrairement à ce que l'on peut attendre, la diversification des systèmes de culture n'a pas dégradé la rentabilité de ces systèmes qui reste comparable à celle des systèmes actuels de référence. La conduite des systèmes de culture en production intégrée augmente en revanche le temps de travail, en raison de l'augmentation des interventions de travail du sol et de désherbage mécanique.

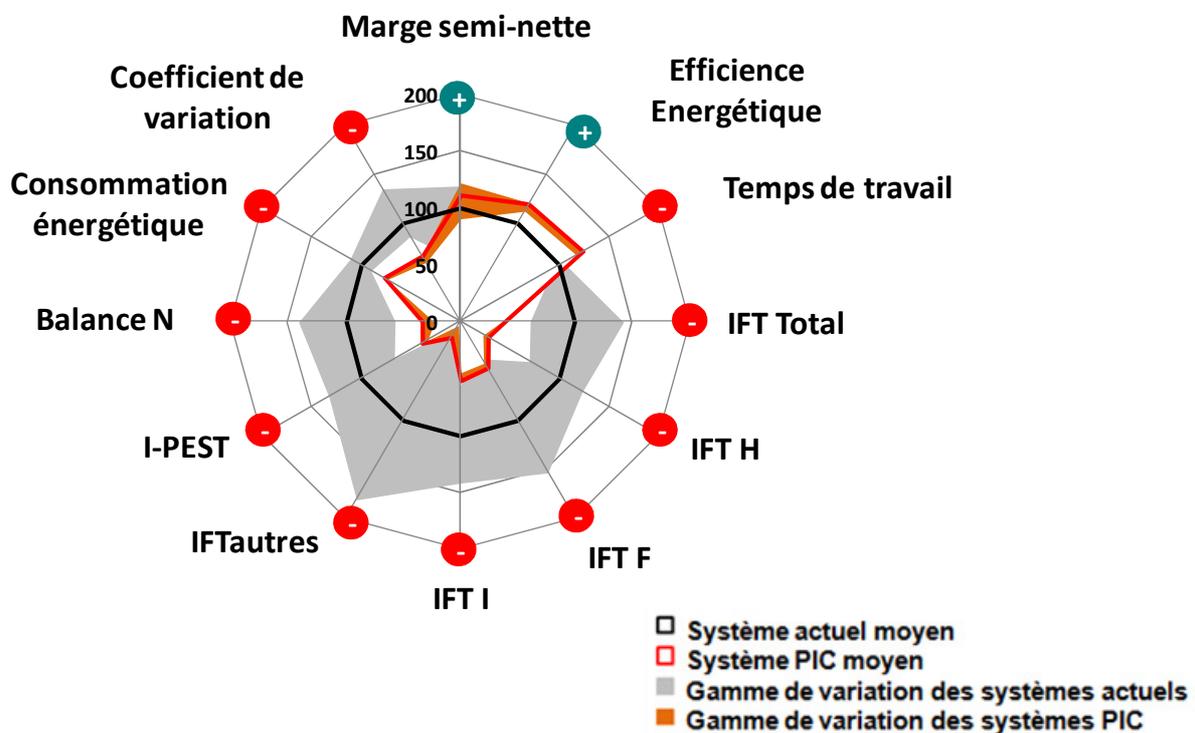


Figure 22. Synthèse des performances environnementales, sociales et économiques pour les systèmes PIC et actuels de la Plaine.

### **III.3.2. Les simulations réalisées dans la zone des plateaux**

La méthode de génération de systèmes de culture PIC et d'évaluation des systèmes présentée précédemment pour la situation de production de la Plaine a été mise en œuvre sur la situation des plateaux de Bourgogne. Les résultats sont présentés succinctement ici, en insistant sur les résultats qui se différencient par rapport à la Plaine.

#### **III.3.2.1. Assolements générés par GAMS et caractérisation des successions de cultures**

Les assolements générés respectent toutes les contraintes agronomiques et rotationnelles introduites dans le modèle (Figure 23). Le blé tendre d'hiver, le colza, le chanvre et le triticale sont présents dans tous les assolements. Le blé tendre d'hiver est la culture dominante, elle présente le tiers des assolements comme le préconise la contrainte rotationnelle relatif à cette culture. La surface du triticale est moins importante dans les systèmes PIC8 et 9 elle est remplacée par l'orge d'hiver dont le prix est plus intéressant dans ces deux scénarios.

Pour les cultures de printemps, c'est la féverole qui domine dans six assolements sur 10 (exemple PIC 1,2 et 7). Le prix de vente de cette culture est inférieur à celui du lupin mais les rendements réalisés par cette culture permettent d'avoir une rentabilité plus importante. Le lupin est en revanche dominant dans quatre assolements qui correspondent aux scénarios de prix relatif plus élevé pour cette culture.

Les assolements générés pour les plateaux sont moins diversifiés que ceux générés pour la Plaine. Trois scénarios de prix (2,4 et 7) génèrent le même type d'assolement avec cinq cultures. L'assolement le plus diversifié comporte 10 cultures différentes.

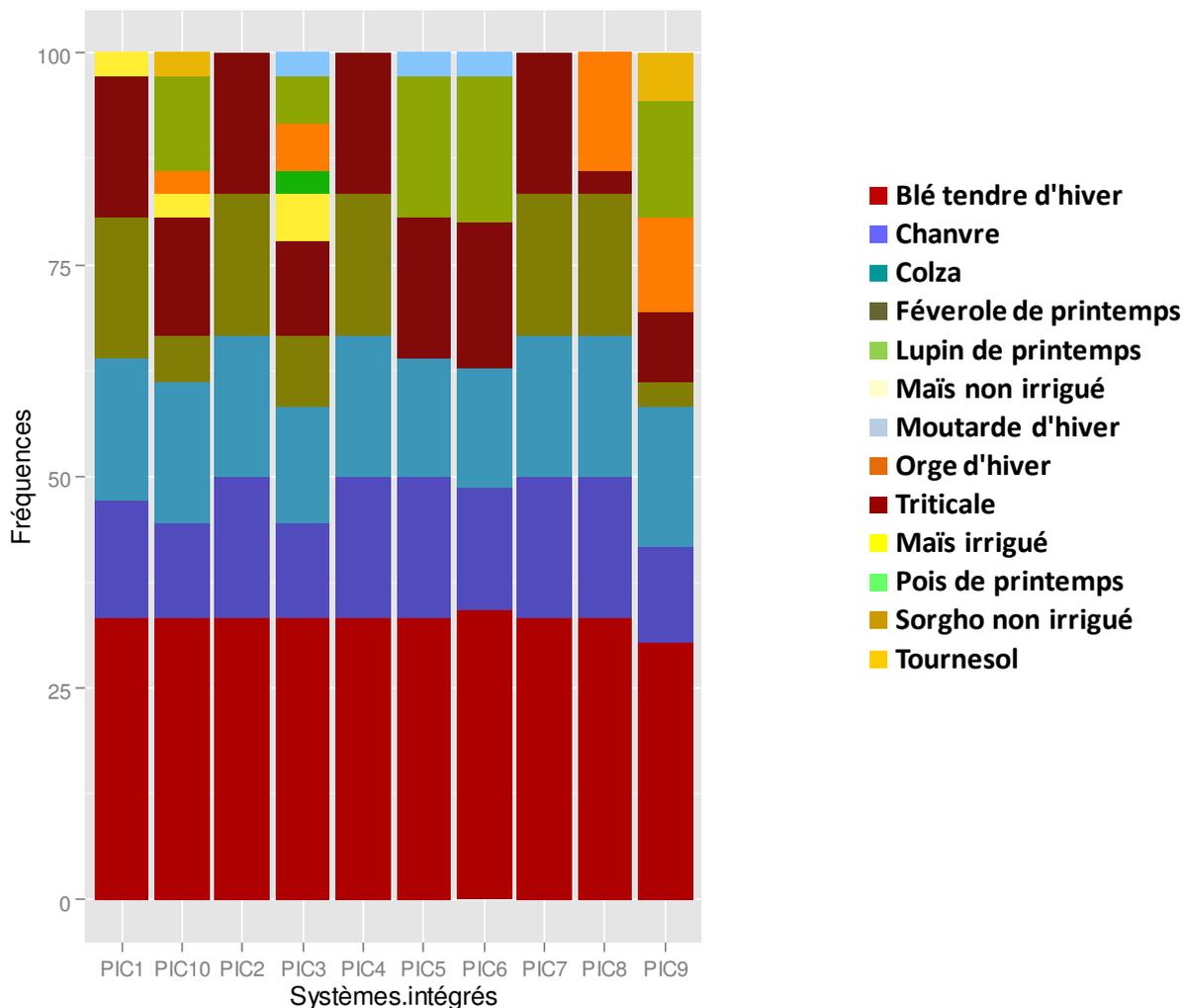


Figure 23. Assolements générées par programmation linéaire pour les dix scénarios de prix dans les plateaux

### III.3.2.2. Niveau d'utilisation des pesticides et risque de contamination des ressources en eau par l'azote minérale

Les systèmes de cultures PIC affichent un niveau d'utilisation de pesticides nettement moins important que les systèmes de culture actuels (Figure 24). L'IFT total ne dépasse pas les deux points pour tous les systèmes PIC alors qu'il atteint presque les sept points pour le système colza-blé-orge intensif. L'indicateur I-Pest est également très amélioré pour les systèmes de culture PIC par rapport aux systèmes actuels (tableau 10).

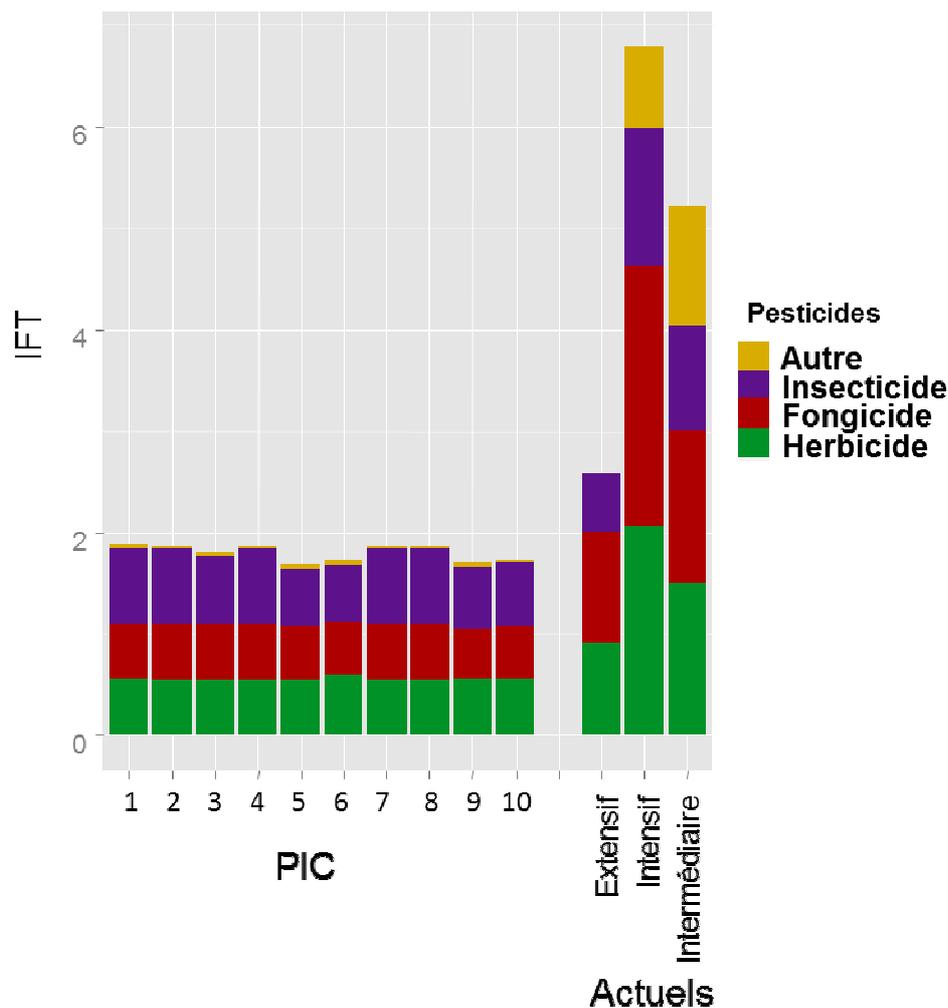


Figure 24. Indice de fréquence des traitements (IFT) pour les systèmes actuels et les systèmes PIC dans les plateaux. Les systèmes actuels correspondent à des successions Colza-Blé-Orge à différents niveaux d'intrants.

Tableau 10. Indices I-Pest calculés pour les systèmes actuels et les systèmes PIC dans les plateaux

	Systèmes PIC										Systèmes actuels		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CBO-Int	CBO-Inter	CBO-Ext
<b>I-Pest</b>	0,61	0,6	0,7	0,6	0,73	0,74	0,6	0,6	0,7	0,68	3,36	2,38	0,83

La balance azotée est quasi équilibrée pour les systèmes PIC, voire légèrement négative (moins de 10 kg/ha), ce qui peut être dû à une légère sur-estimation des rendements ou une légère sous-estimation des besoins en azote (Figure 25). La balance azotée est largement positive pour les systèmes de culture actuels (> 60 kg/ha).

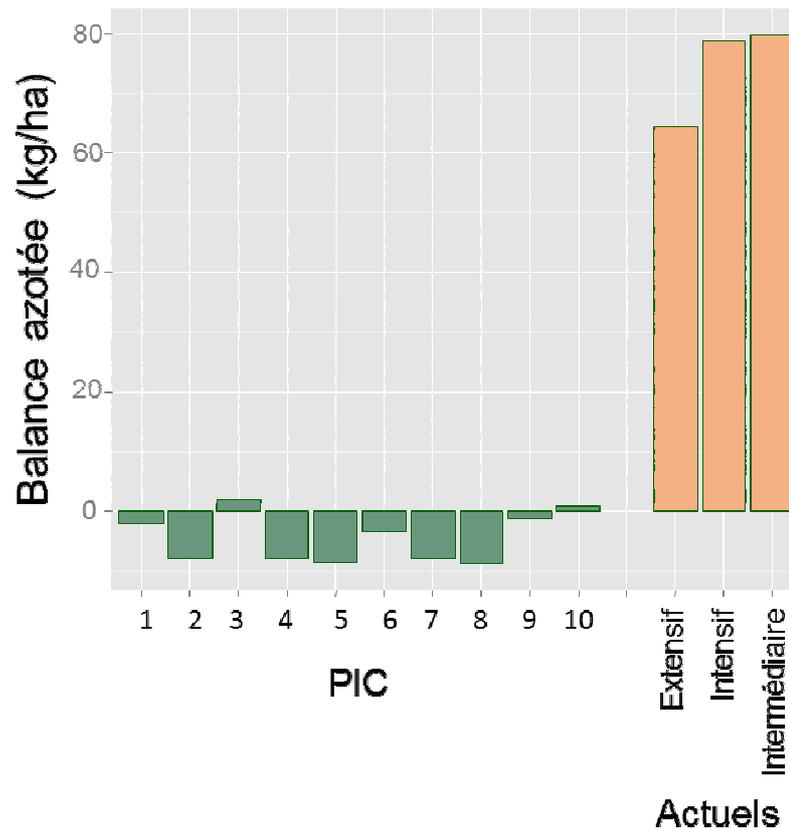


Figure 25. Balance azotée calculée pour les systèmes de culture PIC et actuels dans les plateaux. Les systèmes actuels correspondent à des successions Colza-Blé-Orge à différents niveaux d'intrants.

### III.3.2.3. Performances énergétiques des systèmes PIC et actuels

L'efficacité énergétique des systèmes de culture PIC et actuel est comparable (Figure 26). Comme pour la Plaine, les systèmes PIC sont globalement moins consommateurs d'énergie que les systèmes actuels (Figure 27), mais leur productivité est également moindre dans les mêmes proportions (de l'ordre de -15% par rapport aux systèmes actuels). Le différentiel de productivité est donc plus important pour les plateaux que pour la plaine, ce qui n'est pas surprenant car les contraintes imposées d'introduction de cultures de printemps représentent un risque plus important sur des terres superficielles à faible réserve utile. Comme pour la Plaine, le poste de la fertilisation représente une part importante des consommations d'énergie. Ce poste est fortement réduit en PIC par rapport aux systèmes actuels, de même que celui des pesticides, et dans une moindre mesure des semences. C'est en partie compensé par une consommation de carburant qui augmente avec la PIC, en raison de l'augmentation du nombre d'interventions de travail du sol. Le coût énergétique lié à la mécanisation (i.e. au coût énergétique de fabrication du matériel) est globalement plus faible sur les plateaux que sur la plaine, en lien avec un équipement plus léger et moins diversifié (pas de herse rotative et pas d'outils de désherbage mécanique).

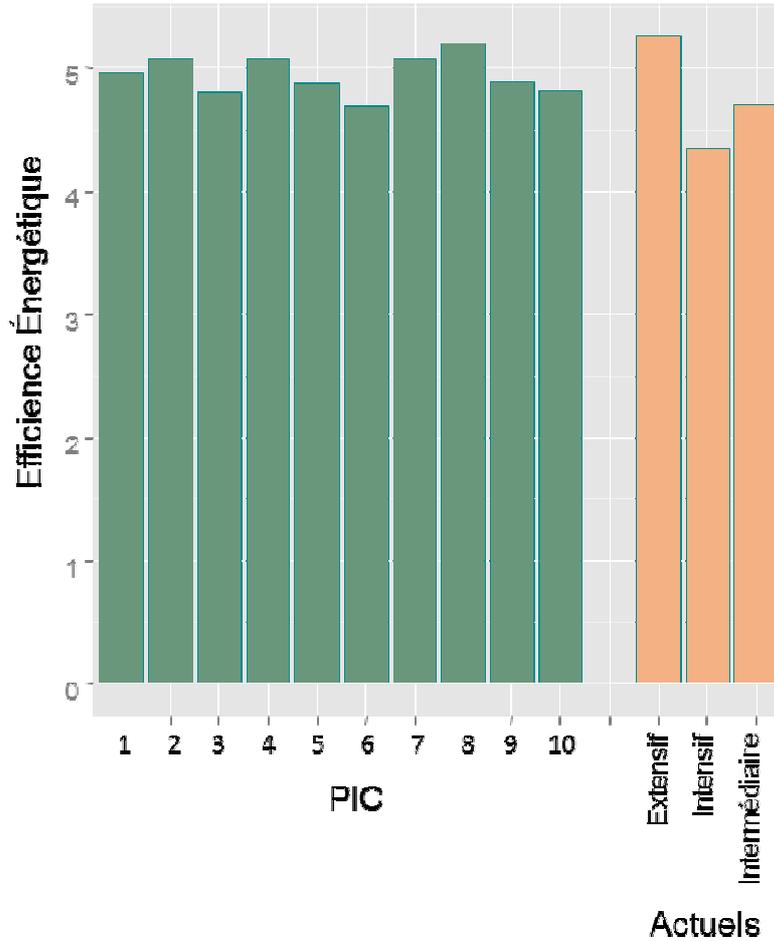


Figure 26. Efficacité énergétique des systèmes de culture PIC et actuels dans les plateaux. Les systèmes actuels correspondent à des successions Colza-Blé-Orge à différents niveaux d'intrants.

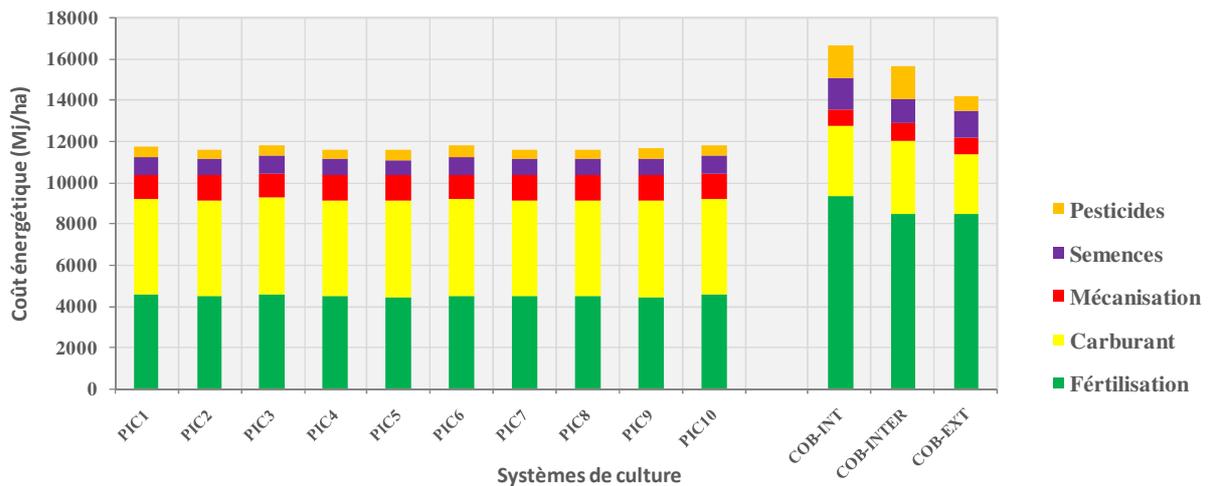


Figure 27. Coûts énergétiques (MJ/ha) détaillés pour toutes les interventions pour les systèmes de culture PIC et actuels dans les plateaux. Les systèmes actuels correspondent à des successions Colza-Blé-Orge à différents niveaux d'intrants.

### III.3.2.4. Rentabilité économique et robustesse des systèmes de culture face à la variabilité des prix et des rendements

#### III.3.2.4.1. Rentabilité économique des systèmes PIC et actuels

La variabilité de marge semi-nette calculée pour 30 scénarios qui combinent la variabilité des prix et celle des rendements est illustrée dans la figure 28. La valeur médiane de la marge semi-nette des systèmes actuels est significativement supérieure à celle des systèmes PIC ( $p$ -value = 0.014). Les systèmes actuels affichent néanmoins une gamme de variabilité de la marge plus importante. Certains scénarios de prix engendrent des marges négatives aussi bien pour les systèmes actuels que pour les systèmes intégrés.

Le test statistique non paramétrique (test de Wilcoxon) effectué sur les trente marges semi-nettes comparant la rentabilité des systèmes PIC et actuels montre que dans deux tiers des cas ces derniers ont une marge significativement plus importante que celle des intégrés. Dans 23% des scénarios, les systèmes PIC présentent une meilleure rentabilité que les systèmes actuels, et les deux types de système ne se distinguent pas significativement dans 10% des scénarios.

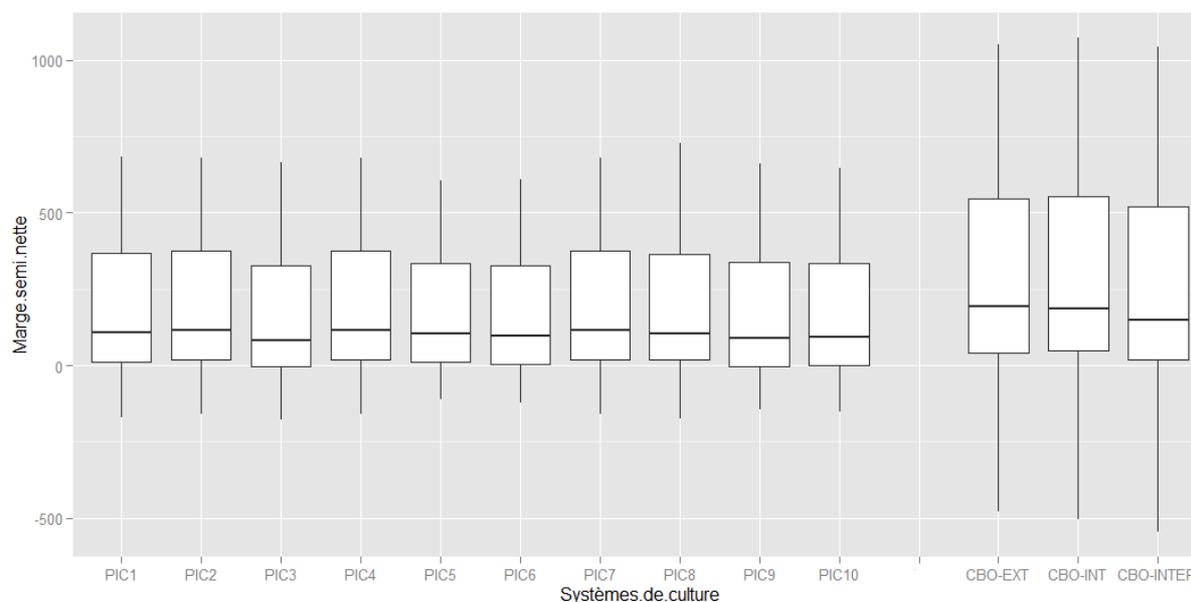


Figure 28. Variabilité de la marge semi-nette pour les 30 scénarios de prix et de rendement, détaillée pour les systèmes de culture PIC et actuels. Les systèmes actuels correspondent à des successions Colza-Blé-Orge à différents niveaux d'intrants.

#### III.3.2.4.2. Robustesse des systèmes PIC et actuels face à la variabilité du contexte des prix de vente des cultures et des intrants et du rendement

Le tableau 11 présente les indicateurs pour évaluer la robustesse des systèmes. L'écart entre la valeur médiane de la marge et le 1<sup>er</sup> décile est significativement plus important pour les systèmes actuels que pour les systèmes PIC ( $p$ -value = 0.014), indiquant que la gravité des

accidents est réduite avec la PIC. Le second indicateur est le nombre de fois où la marge est inférieure à un seuil de 70% de perte par rapport de la marge médiane. Cet indicateur n'est pas significativement différents pour les deux types de systèmes de culture (p-value = 0.85), ce qui semble indiquer que la fréquence des accidents n'est pas affectée par l'adoption des principes de protection intégrée pour les plateaux.

Les coefficients de variation calculés pour les deux types de système indiquent une dispersion plus importante de la marge semi-nette des systèmes actuels en comparaison avec les systèmes PIC.

Tableau 11. Indicateurs de robustesse économique des trois systèmes actuels et dix systèmes PIC. Les systèmes actuels correspondent à des successions Colza-Blé-Orge à différents niveaux d'intrants.

<b>Systèmes</b>	<b>Marge médiane (€ /ha)</b>	<b>Ecart Méd-1<sup>er</sup> décile (€ /ha)</b>	<b>Fréquence des accidents (%)</b>	<b>Coefficient de variation (%)</b>
<b>PIC1</b>	109	194	30	131
<b>PIC2</b>	115	196	30	125
<b>PIC3</b>	80	190	36,6	148
<b>PIC4</b>	115	196	30	125
<b>PIC5</b>	102	158	26,6	119
<b>PIC6</b>	97	161	26,6	125
<b>PIC7</b>	115	196	30	125
<b>PIC8</b>	105	202	33,3	133
<b>PIC9</b>	90	191	36,6	138
<b>PIC10</b>	91	189	33,3	138
<b>CBO-INT</b>	187	342	30	139
<b>CBO-INTER</b>	150	347	43,3	161
<b>CBO-EXT</b>	193	336	30	135

### III.3.2.5. Temps de travail et organisation du calendrier de travail

La figure 29 illustre le temps de travail en heure par hectare pour les systèmes PIC et actuels détaillé pour les différentes interventions. Comme pour la situation de production de la Plaine, les systèmes PIC nécessitent un nombre d'heures de travail plus important que les systèmes actuels (environ 3,5 heures par hectare, contre 2,8 à 3,2 heures par hectare pour les systèmes actuels). En revanche, le nombre d'heures de travail sur les plateaux a été réduit de 25% par rapport à la Plaine. Ceci est expliqué par l'absence de certaines interventions comme le labour et le désherbage mécanique.

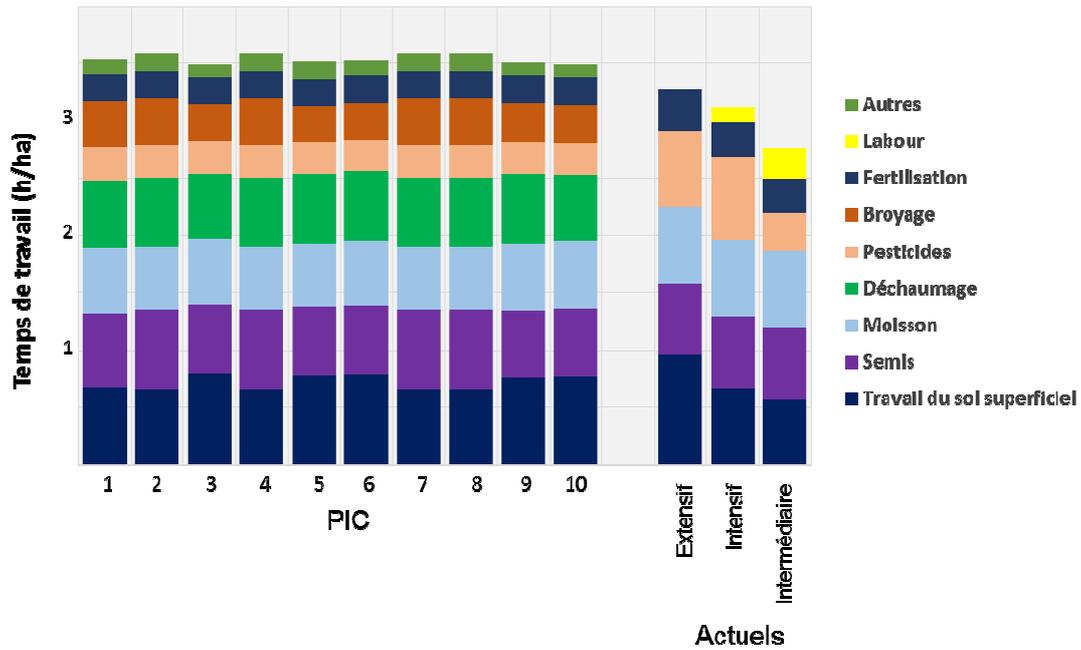


Figure 29. Temps de travail mécanisé pour les systèmes PIC et actuels (h/ha). Les systèmes actuels correspondent à des successions Colza-Blé-Orge à différents niveaux d'intrants.

La répartition du temps de travail par quinzaine pour les systèmes PIC (figure 30) montre qu'il existe un pic de charge de travail fin juillet-début août correspondant à la récolte des céréales d'hiver et les travaux de préparation du sol pour les semis suivants. Les pics de travail qui s'étalent entre fin septembre et fin octobre correspondent au semis des cultures d'hiver et de certains protéagineux (pois et féverole d'hiver), ainsi qu'à la récolte de certaines cultures d'été (maïs et sorgho). D'autres opérations de fertilisation et de traitements phytosanitaires pour les cultures d'hiver et d'été sont étalées dans les dix premières quinzaines.

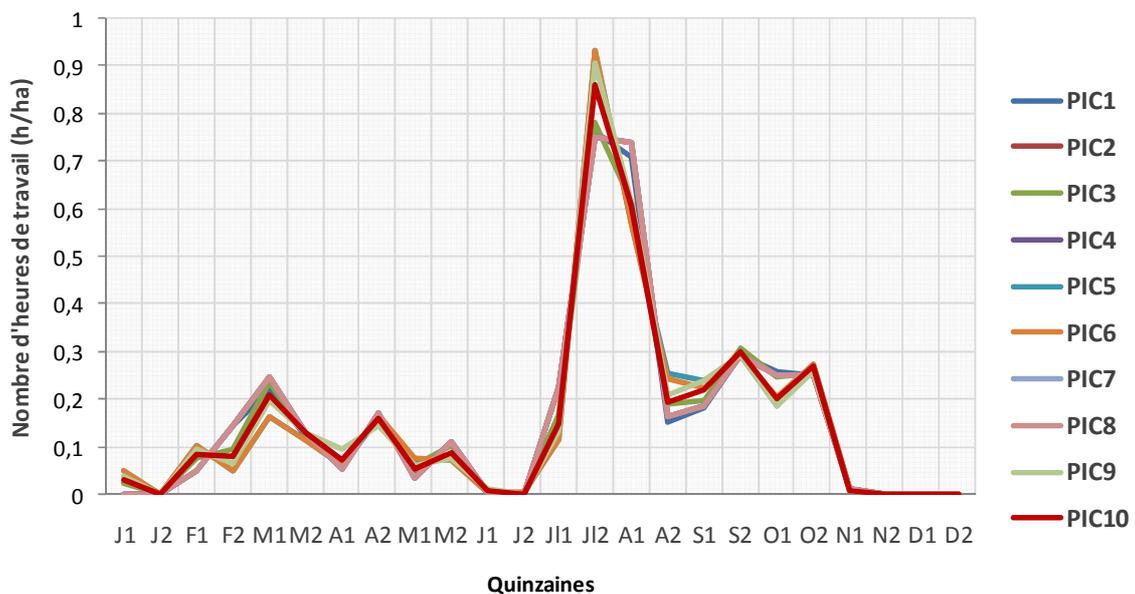


Figure 30. Temps de travail par quinzaine pour les dix systèmes PIC générés en situation de plateaux

Tous les systèmes PIC suivent la même tendance quant à la répartition du temps de travail. La comparaison du système PIC moyen avec les trois systèmes actuels en Colza-Blé-Orge montre que les pics correspondant à la période de semis des cultures d'hiver sont plus prononcés dans les systèmes actuels. Les semis sont plus étalés dans le système intégré avec un décalage correspondant aux semis tardifs des blés (Figure 31). Le pic de travail en juillet et août est plus important en PIC, en raison de la récolte des cultures d'hiver, qui dans les systèmes PIC est suivie immédiatement d'interventions de déchaumage visant à faire lever les adventices pendant l'interculture (faux semis). La diversification des cultures permet d'étaler la charge de travail sur les différentes périodes de la saison culturale, ce qui contribue à compenser l'augmentation globale du temps de travail due à certaines interventions supplémentaires en PIC. La charge de travail reste importante dans certaines périodes (Juillet et Octobre).

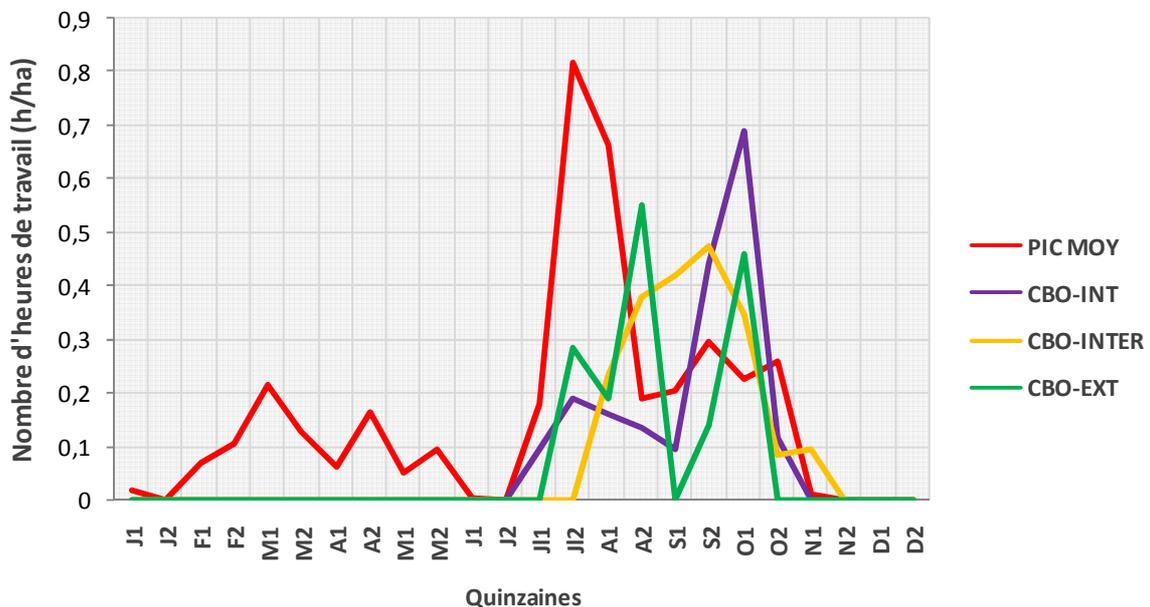


Figure 31. Distribution du temps de travail par quinzaine, détaillé pour un système PIC et trois systèmes actuels en situation de plateaux. Les systèmes actuels correspondent à des successions Colza-Blé-Orge à différents niveaux d'intrants.

### III.3.2.6. Synthèse des performances des systèmes de culture des plateaux

La figure 32 présente une synthèse de l'ensemble des indicateurs de performance évaluant la durabilité pour le système PIC moyen et le système actuel moyen. La gamme de variation des dix systèmes de culture en production intégrée et des trois systèmes actuels est également représentée. Tous les indicateurs sont normalisés par rapport au système actuel moyen dont la valeur des indicateurs est maintenue à 100%.

L'évaluation multicritère montre que la protection intégrée dans les plateaux améliore la durabilité des systèmes de culture sur les aspects environnementaux. Ces systèmes réduisent l'impact sur l'environnement grâce à la diminution des intrants. Ils ont une efficacité énergétique comparable à celle des systèmes actuels. En revanche la diversification

des assolements dans les plateaux a dégradé la rentabilité des systèmes de culture, la marge semi-nette diminue de façon importante. En effet, les caractéristiques du milieu avec des sols peu profonds et des réserves utiles faibles affectent les rendements des cultures de diversification (culture de printemps et d'été). Malgré l'absence de certains travaux du sol difficiles à réaliser dans le contexte des plateaux (exemple du labour et du désherbage mécanique), le temps de travail reste supérieur en production intégrée.

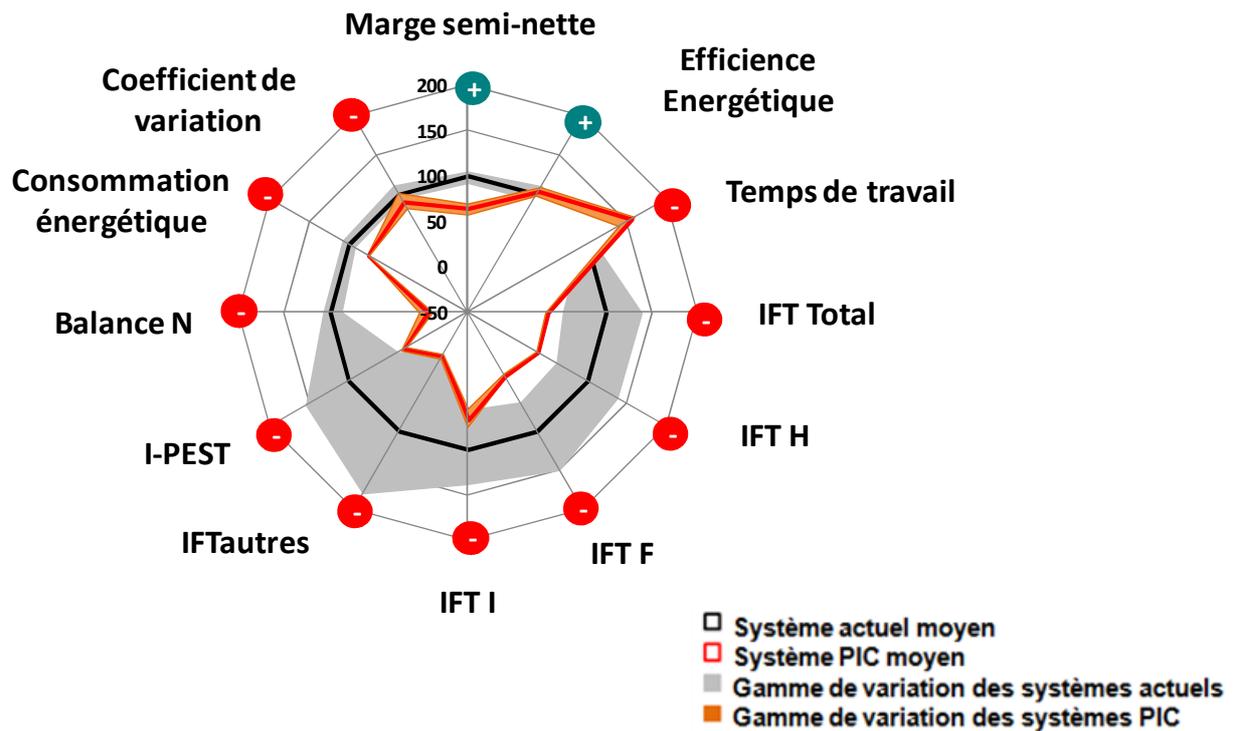


Figure 32. Synthèse des performances environnementales, sociales et économiques pour les systèmes PIC et actuels des plateaux

## **III.4. Discussion**

### **III.4.1. Assolements générés par GAMS**

Le modèle de programmation mathématique développé avec GAMS a été élaboré en collaboration avec des collègues économistes familiers de cet outil. Il simule un système complexe constitué de six parcelles au sein de chaque exploitation. Ce modèle a permis de générer des assolements qui respectent toutes les règles agronomiques et rotationnelles fixées au départ. Certaines simulations, particulièrement dans la situation de production de la Plaine, produisent des assolements avec un nombre important de cultures qui sont peu réalisables sur une exploitation bourguignonne. A contrario, les contraintes rotationnelles imposées au modèle sont fortes. Elles ont pour conséquences que certaines cultures proposées à la diversification comme le pois et la féverole d'hiver n'apparaissent pas du tout dans les assolements optimisés par GAMS. Pourtant d'autres cultures comme le triticale et le chanvre sont très présentes dans les assolements, bien qu'elles ne présentent pas la meilleure rentabilité.

Il est difficile de reconstituer les successions de cultures à partir des assolements générés, parce que les séquences de culture sur les six parcelles simulées sont souvent différentes. Finalement, nous avons utilisé le logiciel GAMS dans la perspective d'optimiser des systèmes d'exploitation, ce qui est la posture classique de nos collègues économistes. Une prise en compte plus directe des systèmes de culture dans la programmation est sans doute possible, mais nous n'avons pas pu le tester.

### **III.4.2. Comparaison entre simulations de la Plaine et des plateaux**

Les systèmes PIC générés pour la Plaine sont plus diversifiés que ceux générés dans les plateaux. En effet les caractéristiques du milieu dans la Plaine sont plus favorables à la diversification des rotations. Les sols profonds avec des réserves utiles importantes permettent de cultiver les cultures de printemps et d'été et d'assurer des rendements jugés élevés dans ce contexte de production.

Une analyse en composante principale (ACP) a été réalisée sur l'ensemble des indicateurs d'évaluation pour les systèmes PIC et actuels de la Plaine et des plateaux (figure 33). Les deux premières dimensions de l'ACP expliquent environ 71% de l'inertie totale. Les systèmes PIC et les systèmes actuels s'opposent selon le premier axe de l'ACP, avec un classement des systèmes cohérent entre la Plaine et les plateaux. Sur les deux types de situation de production, la production intégrée améliore donc les performances environnementales avec une utilisation moins importante d'intrants (pesticides et engrais) et un impact réduit de ces intrants sur les composantes de l'environnement, ce qui est attendu. Ils sont aussi performants sur le plan énergétique mais présentent une contrainte liée à l'augmentation du temps de travail. Les systèmes actuels engagent un nombre d'heures de travail moins important, mais ils dégradent la durabilité environnementale. Le deuxième axe de l'ACP différencie les systèmes de culture PIC et actuels des plateaux de ceux de la Plaine

suivant deux variables qui sont la marge semi-nette et la consommation en énergie. En effet, assez logiquement, la rentabilité économique par hectare cultivé est meilleure pour les sols profonds de la Plaine que pour les sols superficiels des plateaux. En revanche, sur les plateaux, les systèmes de culture sont moins consommateurs d'énergie du fait de l'absence de labour et de désherbage mécanique, et d'une fertilisation azotée moins importante, ajustée par rapport aux potentiels de rendement plus faibles dans ces milieux.

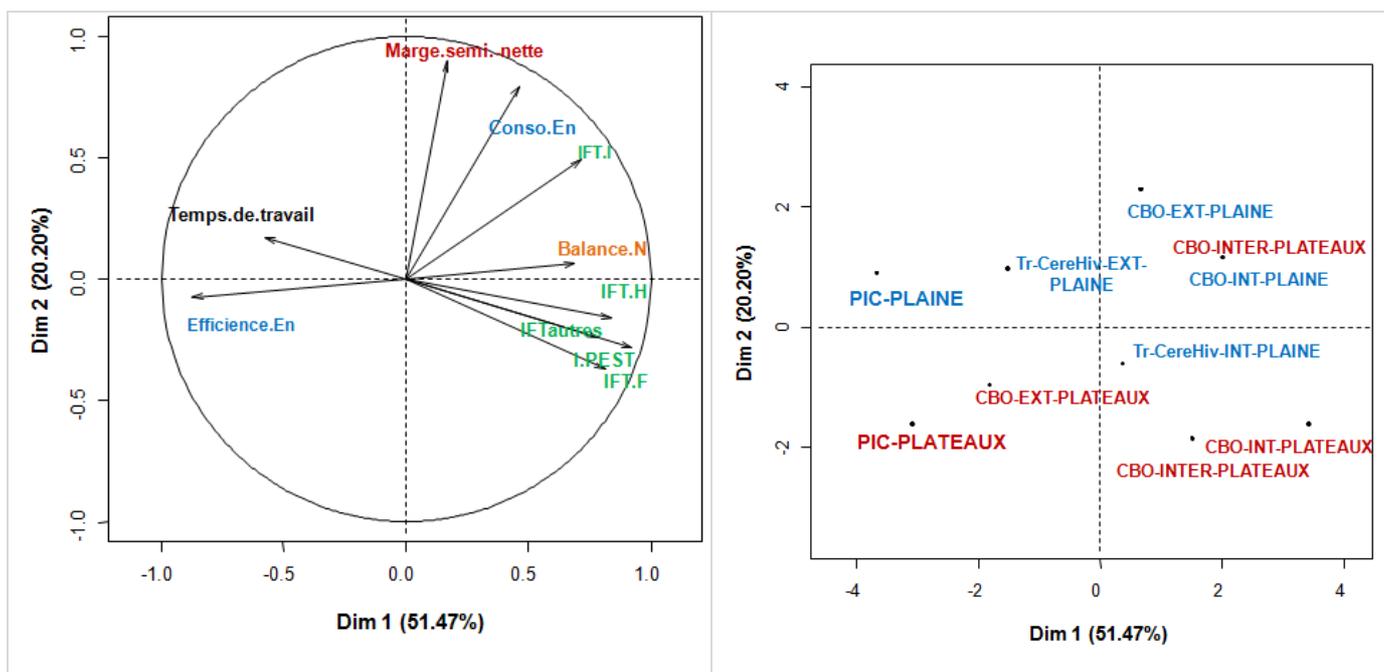


Figure 33. Analyse en composantes principales des performances des systèmes de culture PIC et actuels pour les deux types de situation de production simulés (la Plaine et Plateaux).

### III.4.3. Atouts et limites de cette approche d'optimisation

Notre objectif est de développer une méthode pour concevoir des systèmes de culture basés sur les principes de la production intégrée et optimisés d'un point de vue économique. Les systèmes générés sont ensuite évalués pour les différents leviers de durabilité. Nous avons choisi de développer un modèle mathématique en utilisant le logiciel GAMS pour générer les systèmes PIC. Cette méthode a l'avantage de bien prendre en compte toutes les contraintes agronomiques et rotationnelles. Elle a permis de générer des assolements de culture dont la marge semi-nette est optimisée en accord avec les contraintes imposées au modèle. Le résultat est probant. Nous avons pu montrer que les systèmes PIC sont envisageables en situation de Plaine dans des conditions économiques satisfaisantes, avec des critères de durabilité améliorés, mais au prix d'un temps de travail augmenté avec des périodes délicates pour effectuer toutes les opérations. La confrontation avec les types d'exploitation sera nécessaire pour évaluer si c'est un facteur vraiment limitant. Sur les plateaux, les systèmes PIC permettent également de réduire les impacts environnementaux, mais ils sont pénalisés par les résultats économiques. Sauf à penser que certaines cultures puissent offrir une valeur ajoutée

spécifique (ce n'est pas le cas de celles que l'on a testées) il paraît difficile de promouvoir des systèmes PIC par rapport aux systèmes actuels dans ce type de milieu. Comme attendu, les simulations semblent indiquer que le passage à la protection intégrée est économiquement plus facile sur les sols à fort potentiel que sur les sols superficiels à faible réserve utile, moins favorables à la diversification par l'introduction de cultures de printemps. Les caractéristiques du milieu des plateaux sont donc très prégnantes pour expliquer ces résultats. Une généralisation des systèmes PIC implique certainement une politique agricole spécifique pour ces zones défavorisées sur le plan pédoclimatique.

Certaines limites au travail réalisé méritent d'être soulignées. Dans la conception des systèmes de culture PIC, nous avons eu recours à des conseillers régionaux aussi bien pour décrire un itinéraire technique PIC pour chaque culture que pour estimer les rendements de ces cultures dans les deux situations de production. Les résultats obtenus (successions culturales et performances économiques et environnementales) sont donc très dépendants de la validité de ces données. Les systèmes de culture actuels quant à eux ont été construits à partir des enquêtes de « Pratiques culturales » du SSP établies en 2006. Les produits commerciaux utilisés sont ceux homologués l'année 2006. Les rendements de cultures sont également les rendements réalisés en 2006 et dépendent donc du contexte climatique et sanitaire particulier de cette année. La comparaison des deux types de systèmes de culture peut donc être biaisée. On évalue d'un côté des systèmes réels existants sur une année donnée et d'un autre côté des systèmes fictifs mobilisant des données pluriannuelles.

Plusieurs indicateurs ont été sélectionnés pour évaluer et comparer les systèmes intégrés aux systèmes actuels. Ces indicateurs concernent les aspects environnementaux, économiques et sociaux et permettent d'avoir un idée sur la durabilité globale des systèmes. En revanche, l'aspect lié à la gestion des bioagresseurs n'a pas pu être abordé. Nous avons fait l'hypothèse que les leviers de gestion introduits dans les systèmes simulés pour gérer les adventices, les maladies et les ravageurs ont déjà été testés et validés dans des sites expérimentaux situés dans des contextes de production similaires de la Plaine (expérimentation système longue durée de Dijon Epoisses), et que des combinaisons de leviers de gestion assez proches seraient également efficaces en terme de maîtrise des bioagresseurs sur les terres de plateaux. Nous n'avons pas formellement vérifié la validité de ces hypothèses sur un échantillon d'exploitations agricoles concernées. Cependant, une expérimentation pluriannuelle conduite en Bourgogne sur une parcelle d'agriculteur des plateaux (Chauvel, 2001) a montré l'efficacité de combinaisons similaires de leviers de gestion pour la maîtrise à long terme d'une espèce adventice très dominante dans ce type de milieu, le vulpin des champs (*Alopecurus myosuroides*). Une approche possible, mais non réalisée par manque de temps, aurait pu être de simuler les systèmes de cultures actuels et PIC avec des modèles tenant compte de la dynamique des bioagresseurs (par exemple, le modèle Florsys, qui simule l'effet cumulatif des pratiques culturales sur la démographie des populations d'adventices annuelles, Colbach et al., 2014). Cependant, une telle étude n'aurait pas donné de conclusion définitive sur l'aptitude de nos systèmes PIC à maîtriser durablement la flore adventice, car Florsys n'a pas été formellement validé à l'heure actuelle.

L'impact de la production intégrée sur la biodiversité n'a pas été évaluée sur le terrain. Nous supposons que la réduction des traitements pesticides a pour conséquence indirecte une amélioration de la biodiversité. Un tel diagnostic nécessiterait une étude spécifique.

En définitive notre travail permet, sur des bases qui n'avaient pas encore été explorées, de définir en Bourgogne les possibilités ou non de développer la protection intégrée dans les conditions économiques et réglementaires actuelles. En perspective, il est nécessaire de confronter les modèles fournis aux fonctionnements des exploitations agricoles et aux conséquences sur les filières de production. La démarche proposée, enrichie des remarques formulées, est extrapolable à toutes régions de grandes cultures en France où l'on dispose des données SSP. Un effort doit être consenti dans les situations de polyculture élevage pour disposer de références appropriées.

## **Chapitre IV : Discussion générale**

Ce travail a permis de réaliser une caractérisation des systèmes de culture actuels en Bourgogne et une évaluation *ex ante* de systèmes de culture relevant de la protection intégrée, adaptés aux différents contextes de production de cette région. La première étape a révélé les potentialités régionales dans leur diversité (cf. chapitre II). Dans ce chapitre nous synthétisons les points forts de cette étape en insistant sur son intérêt général, mais en soulignant aussi les limites de mise en œuvre. Ensuite, grâce à des situations types représentatives des potentialités les plus contrastées en Bourgogne, il a été possible de dresser des scénarios d'évolution de ces systèmes de culture avec le programme GAMS (cf. chapitre III). Ces scénarios montrent les atouts, mais aussi les limites d'une mise en place d'une protection intégrée dans les zones testées. Cette approche de diagnostic et de mise en perspective mérite d'être discutée sur le plan des méthodes et des résultats obtenus, sur leurs extrapolations, sur les compléments nécessaires pour la valider et enfin sur les capacités à reproduire cette démarche.

### **IV.1. Caractériser les systèmes de culture à l'échelle régionale**

#### **IV.1.1. Un peu d'histoire...**

Caractériser les systèmes de culture à un niveau régional est une préoccupation très ancienne des agronomes. Sans être exhaustif on peut citer l'abbé Rozier qui, dans son cours complet d'agriculture (1782) à la rubrique « agriculture », propose une description des productions végétales en France en retenant comme limite les grands bassins versants qui expriment les conditions physiques (p. 265 à 285 de son cours d'agriculture). Peu après, Arthur Young (1792) présente une esquisse des régions agricoles françaises, puis un descriptif détaillé des zones agricoles en Angleterre (1800). Au cours du 19<sup>ème</sup> siècle, certains ouvrages décrivent des « voyages agronomiques ». A la fin du 19<sup>ème</sup>, Risler publie « la géologie agricole ». On retrouve un souci commun chez ces auteurs : la caractérisation des grands types de production végétale (avec certains traits particuliers des pratiques) en lien avec les caractéristiques du milieu (climat et sol).

Cet effort de « spatialisation » n'a pas été relayé dans la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, probablement parce que les enquêtes agricoles se sont développées (1840 à 1892 puis en 1929), suivies par les recensements agricoles à partir de 1955 (Richard-Scott, 2009), qui ont permis de fournir des données à différentes échelles. Mais aussi, parce que les agronomes se sont recentrés sur des recherches au niveau de la parcelle.

Ces statistiques fournissent des éléments très précieux au niveau des exploitations agricoles et de leurs productions sans toutefois permettre une description des systèmes de culture (successions culturales, itinéraires techniques). A partir des années 70, les agronomes ont ressentis la nécessité de caractériser au niveau de la petite région (sur un échantillon) les systèmes de culture conjointement à la caractérisation du fonctionnement des exploitations agricoles et de leurs trajectoires d'évolution. C'est à cette époque qu'ont eu lieu les premières analyses des déterminants des systèmes de culture et ou des pratiques agricoles en fonction du milieu et des types d'exploitation (Capillon, 1993). L'extrapolation au niveau régional est

assurée par des indicateurs disponibles dans les statistiques agricoles. Depuis, par le biais d'enquêtes complémentaires (à partir de 1986), les statistiques agricoles fournissent plus d'informations : succession de culture sur 6 ans, techniques par culture, descriptif au niveau de l'exploitation agricole. C'est cette enquête (2006) que nous avons utilisée pour la Bourgogne. Notons les travaux de Mignolet et al. (2012) sur le Bassin de la Seine (sur les systèmes de culture), de Xiao et al. (2014) sur la France entière pour définir et spatialiser les successions de culture et enfin de Schmidt et al. (2006) sur notamment les itinéraires techniques sur le colza. Ces travaux récents nous ont servi de bases méthodologiques. Cependant ils ne traitent chacun que de façon indépendante des composantes de caractérisation des systèmes de culture (itinéraire technique ou succession). Nous avons cherché au niveau de la Bourgogne à réunir les deux composantes dans une même typologie. Enfin, pour avoir une vision synthétique des déterminants des systèmes de culture nous avons retenu la notion récente de situation de production (milieu physique, type d'exploitation, pression des bioagresseurs, environnement socioéconomique). Ces différents déterminants ont déjà été envisagés par les auteurs précédemment cités mais le plus souvent aussi de manière indépendante.

L'utilisation des données du SSP a été marquée par des difficultés pratiques. Le dispositif mis en place par le SSP pour assurer le respect du secret statistique est très contraignant. En effet pour développer les analyses, il est souvent nécessaire d'avoir des représentations individuelles qui sont interdites. Mais il est clair que le respect du secret statistique est nécessaire dans les résultats *in fine* présentés.

#### **IV.1.2. Caractériser les successions de culture**

Devant la diversité des successions de culture observées chez les agriculteurs d'une région, l'opération de regroupement en types signifiants est particulièrement délicate. La diversité des successions culturelles observées sur des séquences de six ans est en partie liée au fait que la notion de rotation (succession avec une répétition régulière d'une même séquence) semble avoir peu de réalité sur le terrain. Le choix des cultures implantées est en effet en partie déterminé par l'évolution des cours relatifs des cultures, voire par l'état des parcelles, et par les accidents climatiques qui viennent bouleverser un schéma éventuellement pré-établi.

Devant cette diversité de séquences, nous n'avons pas pu identifier de méthode ou d'outil permettant d'automatiser la réalisation d'une typologie de succession culturelle. L'utilisation du logiciel de fouille de données Teruti-Miner a été testée (Schott, 2012). Cet outil permet de repérer des régularités sur des triplets de cultures successives, ce qui aide à caractériser chaque succession, mais sans pouvoir aller jusqu'à la typologie. Au final, la méthode retenue est fondée sur un repérage semi-automatique, dans un premier temps de certaines successions connues dans la région (Colza-Blé-Orge d'hiver, monoculture de maïs) ou de successions très diversifiées. Puis on procède à l'identification de versions approchées de ces successions types. Enfin on isole des types alternatifs sur la base des cultures de diversifications repérables (successions diversifiées avec tournesol, succession diversifiée avec légumineuse à graine, succession avec prairie temporaire). Il nous semble nécessaire en

perspective d'aboutir à la formalisation d'une méthode pour obtenir une typologie des successions extrapolable aux différentes régions agricoles françaises.

Au final, comme attendu, la typologie que nous avons réalisé révèle la dominance très importante en Bourgogne des successions colza/blé/orge d'hiver (exacte ou approchées). Quatre types de successions de culture représentent plus de 2/3 de l'échantillon enquêté. Cependant, on a identifié également des successions relativement diversifiées, intégrant des prairies temporaires et/ou alternant des cultures d'hiver et de printemps, qui se rapprochent donc des principes de protection intégrée. Les systèmes de culture actuels fondés sur ce type de succession sont d'ailleurs relativement peu consommateurs de pesticides (cf. Système actuel 4 de l'évaluation multi-critères dans la situation de production 'La Plaine'). Ces successions diversifiées représentent environ 20% de notre échantillon SSP.

#### **IV.1.3. Caractériser les itinéraires techniques**

Disposant de suffisamment d'information sur les enquêtes SSP et d'un nombre d'individus confortable (plus de 700, mais environ 200 par cultures), l'usage d'analyse multidimensionnelle pour trier les données est envisageable. L'alternative serait un ensemble d'enquêtes sur le terrain avec la définition d'itinéraire technique type dont on chercherait une extrapolation à partir des données de SSP. Cette enquête devrait être concomitante de celle effectuée pour les statistiques agricoles, se différenciant d'elle par l'obtention des données sur l'ensemble des cultures par exploitation avec une interrogation plus précise sur la succession des techniques et les raisons invoquées sur leurs combinaisons. La référence directe à la succession de cultures serait alors possible. Nous n'avons pas les moyens de coupler ces deux types d'enquête et surtout de les faire coïncider dans le temps. Nous avons fait le pari qu'une analyse statistique sur les données SSP serait suffisante et pourrait être validée par des conseillers régionaux. Les résultats obtenus sont plutôt encourageants. Pour les cinq cultures renseignées par l'enquête SSP, l'analyse factorielle de correspondance multiple suivie d'une classification hiérarchique aboutit à trois classes qui peuvent s'interpréter comme des usages croissants d'intrants par les agriculteurs. Les résultats obtenus sont cohérents avec les connaissances *a priori* des pratiques agricoles : par exemple pour le blé, les itinéraires techniques utilisant peu de pesticides tendent à être associés à des semis tardifs et une fertilisation azotée modérée. Les effectifs par classe et les classes de variables impliquées ne sont pas les mêmes suivant les cultures. Ces effectifs ne se répartissent pas non plus de façon homogènes entre les différentes situations de production et petites régions agricoles.

#### **IV.1.4. Caractériser les systèmes de culture**

La caractérisation des systèmes de culture découle des deux démarches précédentes et consiste à associer des successions de culture à des itinéraires techniques plus ou moins « intensifs ». Les données de ces derniers sont obtenues sur des parcelles en culture l'année donnée (2006) et donc majoritairement chez des agriculteurs différents. Nous avons donc fait l'hypothèse que les classes d'usage croissant des intrants s'appliquaient à toutes les cultures de la succession, c'est-à-dire qu'un système de culture associé à un itinéraire technique à fort niveau d'intrant en colza, par exemple, serait également associé à un fort niveau d'intrants en blé, à condition d'avoir du blé dans la succession. Une vérification systématique de cette hypothèse n'est pas possible sur la base du jeu de données utilisé. Elle nécessiterait l'accès à

un jeu de données détaillé sur une diversité de systèmes de culture, couplant des informations sur les successions de culture et sur les itinéraires techniques. Un tel jeu de données n'était pas disponible au démarrage de notre travail. L'acquisition en cours de données détaillées à l'échelle du système de culture dans le cadre du réseau DEPHY (action de démonstration du plan ECOPHYTO) permettrait aujourd'hui de vérifier cette hypothèse. Discutée avec les conseillers des organismes de développement en Bourgogne, cette hypothèse est cependant apparue comme plutôt acceptable au regard de l'expertise disponible.

La méthode de typologie des systèmes de culture bourguignon aboutit à distinguer 13 types de systèmes, qui représentent la diversité des pratiques dans la région. Ces types sont géographiquement distribués, conformément à la connaissance *a priori* de l'agriculture régionale, ce qui permet d'étudier le niveau de corrélation entre les caractéristiques de situations de production et celles des systèmes de culture.

#### **IV.1.5. Caractérisation des situations de production**

Les variables disponibles pour la caractérisation de la diversité des situations de production dans la région sont en nombre assez limité, bien que couvrant les principaux aspects *a priori* déterminants pour les choix stratégiques des agriculteurs : type de sol, réserve utile (qui peut-être considéré à cet échelle comme un indicateur des potentialités agricoles), climat, orientations technico-économiques de l'exploitation, et quelques caractéristiques générales de l'exploitation. D'autres variables peuvent également être déterminantes et n'ont pu être prise en compte, comme l'accès à l'irrigation, ou l'accès à certains marchés spécifiques pour valoriser des cultures de diversification. Une tentative a été faite pour caractériser les sites sur la base d'une pression en bioagresseurs, en s'appuyant sur les bulletins des avertissements agricoles de l'année concernée par les enquêtes. Cette tentative n'a pas abouti. En effet les données des bulletins ne peuvent pas discriminer les petites régions agricoles. Cette information serait probablement plus pertinente à l'échelle nationale, et la mise en commun récente des informations issues de la Surveillance Biologique du Territoire dans une base de données nationale (EPIPHYT) devrait aujourd'hui permettre de réaliser une telle analyse à cette échelle.

#### **IV.1.6. Liens entre situations de production et systèmes de culture. Réflexions sur la démarche adoptée**

L'existence de relations entre le contexte de production et les systèmes de culture est une hypothèse classiquement partagée par les agronomes, mais elle a rarement été mise en évidence. Cette question a été traitée très récemment pour analyser la diversité des systèmes à base de maïs dans les zones montagneuses du vietnam (Hauswirth, 2013). Plusieurs approches sont envisageables pour traiter cette question. L'une (que nous avons explorée) consiste à établir *a priori* des groupes de situations de production et de systèmes de culture sur la base de statistiques descriptives, puis de mobiliser des outils statistiques pour identifier comment les types de systèmes de culture sont corrélés aux types de situations de production. Une autre approche, que nous avons retenue dans l'article, consiste à définir les groupes de situations de production sur la base de la segmentation qui discrimine le mieux la diversité des systèmes de culture de l'échantillon. Pour étudier les déterminants des systèmes de culture, cette deuxième approche paraît plus efficace. En effet, certaines variables qui structurent les situations de

production, et contribuent donc à l'identification de groupes de situation de production sur la base de statistiques descriptives ne sont pas forcément déterminantes pour expliquer les pratiques. A l'inverse, certaines variables peu structurantes pour caractériser la diversité des situations de production sont très importantes pour les choix stratégiques des agriculteurs, ou peuvent devenir déterminantes quand elles sont associées à une autre variable. Dans notre étude, par exemple, la taille des parcelles n'est pas une variable prise en compte pour la discrimination des situations de production. Les statistiques descriptives mettent juste en évidence que les parcelles tendent à être plus grandes dans les exploitations de grandes cultures sans élevage. En revanche, la méthode CART montre que dans les situations sans élevage en petites terres de plateau, la taille des parcelles est corrélée au niveau d'intensification des systèmes de culture, les systèmes à faible niveau d'intrant étant plus fréquents sur les petites parcelles. De ce point de vue, la méthode CART s'est avérée performante pour identifier les combinaisons de variables descriptives des situations de production qui sont le mieux associées à tel ou tel type de système de culture.

Les six types de situations de production identifiés avec cette méthode expliquent une part importante de la diversité régionale des systèmes de culture de la région, résumée par nos 13 types de systèmes de culture. Cependant, il reste une variabilité résiduelle de pratiques au sein de chaque type de situation de production. Cette variabilité résiduelle peut en partie être due à la description forcément imparfaite des situations de production, qui peut masquer des caractéristiques déterminantes pour les pratiques (l'accès à l'irrigation par exemple). Une part de la variabilité résiduelle de pratiques au sein des types de situation de production est certainement imputable aux prises de décision des agriculteurs, qui peuvent différer par leurs objectifs, leur histoire... Le poids du contexte sur les pratiques est important (Savaryand Willocquet, 2000), il ne peut être absolument déterminant. L'idéal aurait été de tester cette hypothèse sur la base d'enquêtes réalisées chez plusieurs agriculteurs partageant le même contexte de production, mais avec des pratiques différentes. Cette variabilité de pratiques au sein d'une situation de production est d'ailleurs plutôt un facteur favorable dans une perspective d'évolution des pratiques vers des systèmes plus respectueux de l'environnement. En effet, des pratiques très déterminées par le contexte de production laissent peu de place à l'évolution, sauf si le contexte évolue.

En définitive, le travail présenté vaut autant par la réflexion méthodologique qui lui est associé que par les résultats obtenus. Nous avons proposé et testé une méthode de caractérisation des systèmes de culture en Bourgogne. Cette méthode, basée essentiellement sur des outils statistiques mis en œuvre avec les données SSP, nous semble extrapolable à d'autres régions françaises. Les données sont disponibles et les analyses statistiques sont simples d'accès. Comme dans toute analyse multivariée, l'interprétation des sorties produites nécessite de la vigilance, notamment par rapport aux points exceptionnels, aux corrélations entre variables, et au niveau de représentation des différentes variables sur le plan factoriel.

## **IV.2. Perspectives d'une introduction de la protection intégrée en Bourgogne**

La classification des situations de production a abouti à 6 types de situations de production, qui peuvent se regrouper en 3 groupes plus contrastés (A, B, C) se distinguant par le niveau de réserve utile des sols et par l'association à l'élevage :

- A : forte réserve utile, exploitations plutôt orientées sur les cultures céréalières
- B : sols argileux , exploitations avec élevage
- C : faible réserve utile, exploitations des plateaux sans élevage

Les simulations de systèmes intégrés présentés ne concernent que deux de ces types de situation de production : le type A, désigné par La Plaine (petite région agricole la plus représentative de ce type de situation de production) ; et le type C, désigné 'Plateaux'. Ces deux types représentent une proportion importante de la surface agricole de la région, et sont en outre très contrastés. Cependant, l'ensemble de la Bourgogne n'a pas été exploré par nos simulations. Nous avons exclu faute de temps et de références facilement disponibles les situations de type B, caractérisées par une interaction forte entre les productions végétales et l'élevage. De telles situations méritent d'être étudiées de manière spécifique, car elles offrent un potentiel fort de diversification des successions de cultures par des productions valorisables par les troupeaux.

### **IV.2.1. Le programme GAMS, atouts et limites pour notre étude**

La programmation GAMS offre de nombreuses possibilités. Le cadre de la modélisation est construit par l'utilisateur. Travaillant en collaboration avec des économistes familiers de cet outil, nous avons simulé un système plus complexe que le système de culture. En définitive, le système simulé s'approche plus du système de production, fondé sur une exploitation de 130 ha avec un UTH (situation modale en Bourgogne), constituée de six parcelles conduites sur un horizon de planification de six ans. Cette durée de six ans était justifiée par la durée des successions de culture des prototypes de système de production intégrée en Bourgogne. Elle permet une représentation des quatre périodes de semis contrastées (automne précoce, automne tardif, printemps précoce et printemps tardif) et une sur-représentation des semis d'automne. Une limite de l'utilisation de ce modèle pour la génération de système de culture est que l'assolement généré sur l'ensemble des six parcelles, déployé sur les six années, est trop complexe par rapport à la réalité. Il peut pour certains scénarios de la Plaine comporter jusqu'à 10 cultures différentes, ce qui est rarement rencontré, y compris dans les exploitations les plus diversifiées. Une manière de contourner le problème serait de rajouter une contrainte sur le nombre total de cultures conduites dans l'exploitation sur la période considérée.

### **IV.2.2. Des résultats contingents de l'expertise**

Une autre caractéristique de la méthode proposée pour étudier les conséquences de l'adoption de la protection intégrée est sa forte dépendance aux références des conseillers de la Chambre d'Agriculture de Bourgogne et à celles de certains membres du RMT « Système de Cultures innovants » impliqués en Bourgogne. Il n'a pas été possible de mettre en place un dispositif pour croiser les avis de ces acteurs. Une telle démarche est probablement

envisageable à un niveau national mais difficile à conduire à un niveau local faute de répétitions. Les avis que nous avons réunis sont à différents niveaux :

- Pour définir les itinéraires techniques de type ‘protection intégrée’ pour chacune des cultures candidates à la diversification. Pour la Plaine, on a mobilisé largement les ressources des itinéraires techniques qui ont fait leur preuve dans les expérimentations ‘systèmes’. Pour les plateaux, il a fallu injecter les connaissances des acteurs locaux pour adapter ces itinéraires techniques en fonction des contraintes de ce type de milieu. Une proposition consiste à supprimer le labour et le désherbage mécanique, qui sont le plus souvent difficilement réalisables dans ce milieu. Mais il a fallu aussi mobiliser des références régionales pour évaluer le nombre d’applications de produits phytosanitaires supplémentaires, par rapport aux systèmes de protection intégrée de la Plaine. Ces traitements supplémentaires sont nécessaires sur les plateaux du fait de l’impossibilité du recours aux leviers de gestion des bioagresseurs que sont le labour et le désherbage mécanique.
- Pour définir les rendements moyens, ainsi que les rendements des bonnes et mauvaises années de ces cultures, soumises à des itinéraires techniques particuliers relevant de la protection intégrée, dans les milieux concernés. Cette évaluation pèse évidemment lourd sur les résultats agronomique et économique au moment de l’évaluation des systèmes de culture générés.
- Pour définir les règles de protection intégrée, traduites en contraintes dans les optimisations avec GAMS. Le corpus de règles utilisé correspond aux règles intégrées dans les essais ‘protection intégrée’ conduits en Bourgogne, et au-delà très partagées au sein de la communauté des agronomes du RMT ‘Systèmes de Culture Innovants’. Son efficacité pour la maîtrise des bioagresseurs est éprouvée sur les différents dispositifs expérimentaux systémiques de ce RMT. Cependant, considérer ce corpus de règles comme un ensemble rigide serait probablement une erreur. Il est intéressant d’explorer des variantes. Par exemple, la piste de systèmes de culture fondés sur les principes de l’agriculture de conservation n’a pas été retenue dans ce travail, principalement parce que l’expertise disponible était trop limitée. Il n’est pas exclu que ce type de système puisse être, au moins dans certains contextes, une piste pour concilier au mieux la productivité agricole et la réduction des impacts environnementaux, même si le recours important aux herbicides dans ce type de systèmes semble pour l’instant assez général.

Les résultats obtenus sont donc très dépendants de la démarche mise en place pour interroger les conseillers régionaux. Les difficultés rencontrées rejoignent celles de toute démarche associant l’expertise à la modélisation, décrite par exemple par Therond et al. (2011). A partir de notre travail il est possible de confronter le descriptif des systèmes de culture générés par notre méthode, et leurs performances estimées, aux systèmes de culture à faible usage de pesticides décrits pour des situations de production similaire. Les bases de données décrivant des systèmes de culture, élaborées dans le cadre des réseaux d’agronomie s’intéressant à la réduction d’usage de pesticides (RMT ‘Systèmes de Culture Innovants’ et

réseau DEPHY) sont des ressources pour ce type de confrontation, qui n'existaient pas au démarrage de ce travail.

### IV.2.3. Conséquences prévisibles de l'adoption généralisée de la protection intégrée

Les résultats issus de l'évaluation des systèmes de culture PIC fictifs générés par notre méthode confirment certaines hypothèses formulées. Ils donnent également des valeurs chiffrées, pour les différents indicateurs de la durabilité considérés, permettant de caractériser les conséquences estimées d'une transition massive des systèmes actuels vers des systèmes de production intégrée.

Selon ces résultats, sur la situation de sols profonds à forte réserve utile (type « la Plaine »), la transition généralisée vers la protection intégrée permettrait d'avoir des résultats économiques très voisins de ceux des systèmes actuels. Ceci est vrai pour la majorité des scénarios de prix testés, avec en outre une moindre sensibilité à la volatilité des prix et à la variabilité interannuelle des rendements, grâce à la diversification des cultures. Ces systèmes PIC sont moins productifs que les systèmes actuels, mais dans la majorité des scénarios de prix, la maîtrise des charges compense cette moindre productivité. Tous les indicateurs environnementaux estimés sont en faveur des systèmes PIC qui seraient adoptés. Dans ce contexte, les freins à l'adoption de tels systèmes pourraient essentiellement être liés à l'augmentation du temps de travail par hectare, et à l'augmentation de la complexité de la conduite de ces systèmes caractérisés par un grand nombre d'interventions différentes sur un grand nombre de cultures différentes. La transition vers la Protection Intégrée nécessite en outre l'accès à un parc matériel diversifié, notamment avec le besoin de différents outils de désherbage mécanique. Ces outils sont par ailleurs peu faciles à gérer à plusieurs agriculteurs dans le cadre d'une co-propriété, car leur utilisation nécessite une forte réactivité pendant les courtes périodes favorables sur le plan météorologique. Enfin, la transition nécessite d'appriivoiser des cultures peu habituelles, d'avoir une garantie d'écoulement et d'adapter les itinéraires techniques. La transition n'interpelle donc pas seulement la volonté des agriculteurs, mais aussi les services de conseil qui devraient s'adapter, et les organismes de collecte qui doivent s'impliquer dans l'accompagnement de la diversification. Sous ces conditions, il semble possible d'engager une politique de développement qui devra au préalable être appropriée par les acteurs (Lamine et al., 2009).

Pour la zone des plateaux calcaires (Nord de la Bourgogne), les résultats de la simulation sont différents. En effet les systèmes actuels basés sur la rotation Colza-Blé-Orge obtiennent des résultats économiques supérieurs à ceux simulés en protection intégrée. La raison vient de performances moindres engendrées par la diversification des cultures en protection intégrée. Même si on fait l'hypothèse d'écoulement des produits favorisé par des critères de qualité, les rendements plus faibles des cultures de printemps et d'été associés aux risques de déficit hydriques pénalisent ce type de système, pour tous les scénarios de prix considérés. Ce type de situation de production, caractérisé par des sols à faible réserve utile, apparaît donc comme moins favorable à l'adoption des principes de protection intégrée que les situations à fort potentiel de Bourgogne, alors que les bénéfices environnementaux serait également importants dans ce type de contexte. La rotation colza-blé-orge s'est imposée avec

le temps sur ces sols superficiels de plateaux, fondée sur trois cultures d'hiver susceptibles d'échapper au déficit hydrique du début de l'été. Avec l'augmentation des tailles des exploitations, les conduites se sont simplifiées et uniformisées, avec le recours à l'intensification (lutte chimique contre les adventices et une assurance sur la fertilisation azotée).

Sur les sols de plateaux, il paraît difficile de proposer des solutions de diversification des cultures. La réintroduction de l'élevage, abandonné depuis de nombreuses années, serait une solution pour valoriser des cultures de diversification comme des prairies temporaires, mais elle semble difficilement réalisable dans ce type de contexte. Ces résultats montrent la difficulté d'asseoir une politique de protection intégrée en fonction des conditions pédoclimatiques. Ce résultat risque malheureusement d'être de même nature pour toute la ceinture des petites « terres à cailloux » au Sud du bassin parisien. Par contre de nombreuses situations en position centrale du bassin de la Seine et en Picardie sont très probablement dans la même situation que la plaine de Dijon, et à ce titre plus flexible à des changements de système en faveur de la protection intégrée dans la mesure où on est capable de maîtriser les filières et les débouchés.

Une caractéristique commune des systèmes de culture de production intégrée dans notre travail est la baisse de la productivité par rapport aux systèmes actuels, exprimée ici en productivité énergétique (mais qu'on aurait pu également exprimer en productivité en valeur). A l'échelle de l'exploitation, cette baisse de productivité est dans certains cas (situation de « la Plaine » pour certains scénarios de prix et de rendement) peut être compensée par la baisse des charges. Cependant, la baisse de productivité peut également avoir des conséquences économiques au-delà de l'économie de l'exploitation. Elle aurait des conséquences sur l'organisation des filières régionales, avec probablement une baisse du volume des exportations, un changement de nature de ces exportations, et peut-être également une baisse du volume des importations d'intrants et de produits agricoles. Il serait intéressant d'enrichir l'évaluation des conséquences possibles de la transition vers la protection intégrée par une analyse des filières régionales. Elle conduirait probablement à l'identification de freins au changement d'une autre nature que ceux qui peuvent être identifiés à l'échelle de l'exploitation.

Enfin, nous avons exploré une hypothèse de transition, celle de l'adoption généralisée des mêmes principes de protection intégrée pour toute l'agriculture de la région. L'objectif est d'en évaluer les conséquences sur le paysage agricole régional, et sur la durabilité globale de l'agriculture. Il est possible, voire probable, que l'adaptation de l'agriculture, en vue de concilier au mieux les aspects économiques, sociaux et environnementaux à l'échelle régionale, nécessiterait plutôt d'envisager des scénarios plus complexes de combinaisons spatialisées de différents types de systèmes de culture. Cette hypothèse est celle qui est envisagée par la démarche Co-Click'eau, conçue pour appuyer les acteurs d'une aire d'alimentation de captage dans l'élaboration de plans d'actions visant l'amélioration de la qualité de l'eau via la co-construction de scénarios de changements de pratiques agricoles (Chantreel al., 2012). Elle permettrait notamment d'optimiser une répartition spatiale de systèmes intensifs proche des systèmes actuels, de systèmes de production intégrée et de

systemes biologiques, en prenant en consideration les différentes situations de production et les performances économiques et environnementales de ces systemes dans ces différents contextes.



## Conclusion générale

Le monde agricole en France et en Europe est en tension au début de ce XXI<sup>ème</sup> siècle. Il est pris entre d'une part l'injonction forte de la société et des pouvoirs publics à faire évoluer les pratiques pour réduire les impacts environnementaux, et d'autre part la nécessité de rester compétitif sur le marché mondialisé, afin de maintenir le revenu des agriculteurs. La question majeure qui est posée, et pour laquelle il n'y a pas aujourd'hui de réponse claire, est la suivante : est-il possible de concilier des critères de durabilité ? Certains paraissent, antagonistes, comme la baisse des intrants qui permet une baisse des impacts environnementaux et la préservation de la biodiversité, éventuellement antagoniste de la productivité et de la rentabilité, voire de l'emploi rural ? L'agroécologie, et sa composante protection/production intégrée, sont-elles des pistes permettant de résoudre ces éventuels antagonismes ?

Nous proposons des éléments de discussion et de validation des hypothèses initiales :

Le travail réalisé sur les liens entre la diversité des situations de production et la diversité des systèmes de culture en Bourgogne valide l'hypothèse selon laquelle les pratiques agricoles sont largement déterminées par le contexte dans lequel elles sont mises en œuvre (chapitre II). Ce déterminisme n'est heureusement pas absolu. Il existe une variabilité résiduelle non négligeable entre les pratiques d'agriculteurs partageant des situations de production similaires, source possible d'adaptation et donc de progrès.

En lien direct avec cette première hypothèse, nous avons documenté la diversité de systèmes de culture dans un corpus de principes de gestion prédéfini. Il traduit les règles de protection intégrée et il peut les générer dans des situations de production contrastées. Les types de sol, le climat, l'environnement socio-technico-économique, sont autant de contraintes qui déterminent les itinéraires techniques et les possibilités de diversification. Malgré les valeurs imposées lors de l'optimisation, les successions de cultures et les assolements simulés diffèrent entre les situations de la Plaine (représentative des zones à fort potentiel agricole) et les situations de plateaux aux sols à faible réserve utile et climat plus frais. Par ailleurs, les caractéristiques des situations de production déterminent évidemment les performances économiques et environnementales des systèmes de culture. La diversité des situations de production est donc importante à considérer pour toute démarche de conception ou d'évaluation de systèmes agricoles. Ce concept de situation de production s'est avéré très opérant dans notre démarche, et se trouve au cœur du schéma présentant le cadre conceptuel dans lequel s'insère ce travail (figure 34, extraite de Aouadi et al., 2015).

Enfin, les travaux menés contribuent à valider l'hypothèse selon laquelle les principes de protection intégrée permettent de concilier les performances économiques et environnementales dans certains contextes de production. Dans les deux types de situations de production testés, les critères d'impact environnementaux seraient fortement améliorés dans le cas des transitions simulées vers la protection intégrée. Pour les situations à fort potentiel et

forte réserve utile favorable à la diversification par l'introduction de cultures de printemps, cette transition ne s'accompagnerait pas d'une dégradation de la rentabilité économique du système de culture, au moins dans la majorité des scénarios de prix envisagés. Cependant, si ce type de situation de production semble favorable à l'adoption des principes de protection intégrée, cela n'est pas généralisable à d'autres milieux. En effet, notre étude a révélé un vrai antagonisme entre niveau d'usage de pesticide et rentabilité économique sur les sols plus superficiels des plateaux.

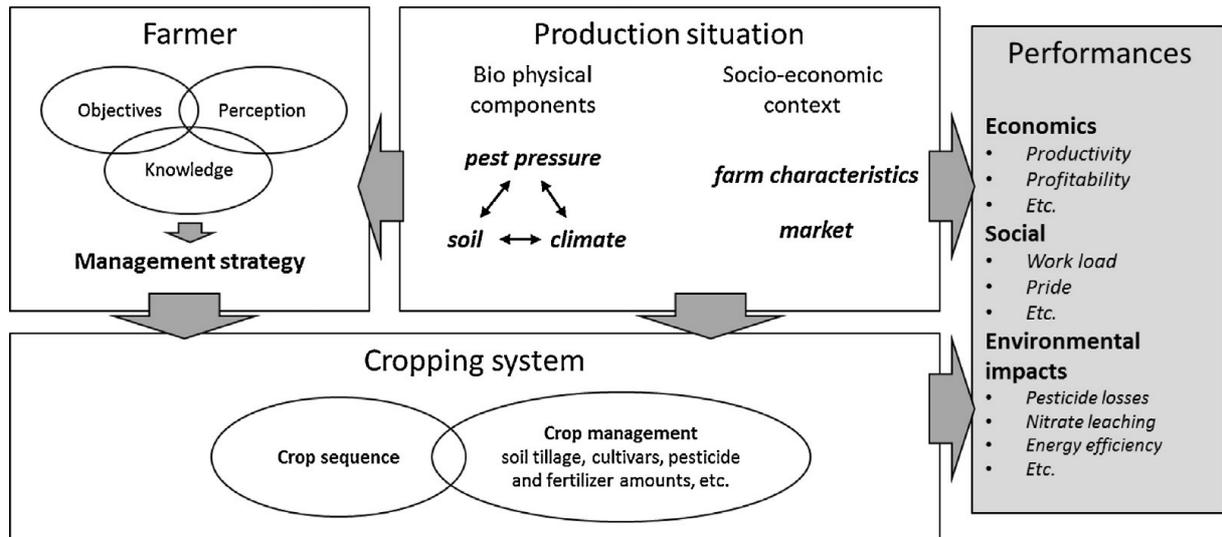


Figure 34. Cadre conceptuel de l'étude présentant la place prépondérante du concept de situation de production pour la détermination des stratégies de gestion, des systèmes de culture réalisés, et de leurs performances économiques, sociales et environnementales (extrait de Aouadi et al., 2015)

Le travail réalisé contribue également aux questions posées sur les freins à la transition vers des systèmes de production intégrée. Les impacts environnementaux et la rentabilité économique ne sont pas les seuls déterminants des systèmes de culture. Nous avons montré par exemple que les principes de protection intégrée proposés s'accompagne d'une augmentation du temps de travail à l'échelle de l'exploitation. Cette augmentation s'accompagne d'une complexification de la gestion du système liée à la multiplication des types d'interventions techniques sur un grand nombre de cultures. La diversification des cultures contribue à l'étalement des travaux dans le temps, ce qui peut être un facteur favorable (mais cela nécessite d'être vérifié). Certains principes de gestion des bioagresseurs (déchaumage rapide après la récolte, travail du sol superficiel juste avant les semis pour assurer l'absence d'adventices levées le jour du semis, retard de date de semis à l'automne) peuvent cependant générer des contraintes organisationnelles et des difficultés de mise en œuvre.

Notre travail ouvre des perspectives sur les aspects méthodologiques. Nous avons exploré plusieurs méthodes d'étude des relations entre les caractéristiques des situations de production et celles des systèmes de culture. Notre expérience est en faveur de l'emploi d'une

méthode fondée sur le principe de la segmentation séquentielle des situations de production avec des variables qui discriminent le mieux les types de systèmes de culture préalablement identifiés. Cette méthode de type CART pourrait être réutilisée avec le même objectif dans d'autres régions ou à l'échelle nationale dès que l'échantillon a une taille suffisante (environ 1000). Notre deuxième proposition méthodologique est de simuler des scénarios de transitions vers la protection intégrée, fondée sur l'optimisation sous contraintes par programmation mathématique. Le programme d'optimisation est certainement perfectible pour mieux correspondre à l'échelle « système de culture ». Sous réserve d'une adaptation de cette procédure, une application à l'échelle nationale contribuerait certainement aux débats sur les possibilités de réduction d'usage de pesticide par l'agriculture française.

Ce travail porte explicitement sur le concept de système de culture. La démarche conduite à cette échelle permet de traiter des impacts à différents niveaux : gestion des bioagresseurs, performances économique, sociale et environnementale des systèmes. Une difficulté rencontrée est le peu de jeux de données disponibles décrivant la diversité des pratiques à une échelle régionale ou nationale. Nous avons utilisé les données des statistiques agricoles du SSP qui ne décrivent pas complètement les systèmes de culture, ce qui nous a forcés à établir des hypothèses difficilement vérifiables. Un des bénéfices du plan ECOPHYTO est le développement du concept de système de culture. Celui-ci est ainsi à la base du réseau de démonstration DEPHY. Ce réseau met progressivement en place une base de données unique qui décrit précisément plusieurs centaines de systèmes de culture contrastés répartis sur l'ensemble du territoire national. Ce jeu de données très précieux n'était malheureusement pas disponible au démarrage de notre travail. Il est logique qu'il soit utilisé maintenant pour construire une expertise dans les différentes régions de France et dans les différents types de situation de production. Elle serait basée sur les règles stratégiques de gestion des bioagresseurs qui permettent de réduire de façon significative la dépendance aux pesticides. Ce jeu de données pourrait servir de ressources pour construire des matrices technico-économiques dans différentes régions, et ainsi généraliser la méthode que nous avons proposée pour évaluer les conséquences d'une transition vers la production intégrée sur le plan national. Enfin, ces données sont aptes à valider les performances économiques, sociales et environnementales que nous avons quantifiées pour nos systèmes PIC fictif. Cette validation pourrait se construire en confrontant des performances estimées par nos systèmes à celles de systèmes du réseau DEPHY issues de situations de production similaires et proches du point de vue de la succession culturale et des itinéraires techniques.

Nos résultats fondés sur de la modélisation mériteraient d'être confrontés à des situations réelles, avant que des conclusions définitives puissent être énoncées sur les conséquences d'une généralisation de la Protection Intégrée. En l'absence de modèle vraiment fiable de simulation des dynamiques de bioagresseurs, il est important de vérifier sur le terrain que les systèmes de culture proposés permettent bien un niveau de maîtrise suffisant pour éviter les dommages et les pertes. Ceci est rendu difficile dans le cas de bioagresseurs qui se déplacent à moyenne ou grande distance. Il est aussi important de soumettre les propositions de système de culture à l'avis des divers acteurs du monde agricole. L'objectif est d'identifier des difficultés supplémentaires s'opposant aux possibilités de transitions. A l'échelle de l'exploitation agricole, on a évoqué des difficultés liées à la complexification des systèmes et

à l'organisation du travail. A l'échelle des filières, les organismes de collecte doivent s'organiser pour accompagner les processus de diversification indispensables à la réduction de la dépendance aux pesticides. Cette réorganisation est probablement lourde et difficile à mettre en place, pour des raisons économiques en particulier. Enfin, le conseil agricole doit également s'organiser pour accompagner les processus de transition. Les conseillers doivent s'approprier les connaissances sur les systèmes de production intégrée, et changer leur mode de conseil pour développer le conseil stratégique au détriment du conseil tactique plus habituel. Nous retrouvons ici des enjeux clés déjà identifiés pour le programme ECOPHYTO. Notre travail apporte sans conteste des outils méthodologiques à ce programme, et des résultats qui méritent d'être confirmés et extrapolés à d'autres régions.

## Références bibliographiques

- Aouadi N., Aubertot J.N., Caneill J., Munier-Jolain N.M., 2015. Analyzing the impact of the farming context and environmental factors on cropping systems: A regional case study in Burgundy. *European Journal of Agronomy*, 66, 21–29.
- Attoumani-Ronceux A., Aubertot J.N., Guichard L., Jouy L., Mischler P., Omon B., Petit M.S., Pleyber E., Reau R., Seiler A., 2011. Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires. 116 p.
- Aubertot JN, Robin M.H., 2013. Injury Profile SIMulator, a Qualitative Aggregative Modelling Framework to Predict Crop Injury Profile as a Function of Cropping Practices, and the Abiotic and Biotic Environment. I. Conceptual Bases. *Plos One*, 8 (9).
- Baldi I., Cordier S., Comoul X., Elbaz A., Gamet-Payraastre L., Le Bailly P., MultiGner L., Rahmani R., Spinosi J., van Maele-Fabry G., 2013. Pesticides, effets sur la santé. Rapport d'expertise collective. Ed. INSERM. 146p.
- Bamière L., Havlik P., Jacquet F., Lherm M., Guy M., Bretagnolle V., 2011. Farming system modelling for agri-environmental policy design: The case of a spatially non-aggregated allocation of conservation measures. *Ecological Economics*, 70, 891–899.
- Benoît, 1992. Un indicateur des risques de pollution azotée nommé "Bascule" (Balance Azotée Spatialisée des systèmes de Culture de l'Exploitation). *Fourrages*, 129, 95-110
- Benzecri J.P., Bastin C., Boyurgarti C., Cazes P., 1980. Pratique de l'analyse des données. Tome 2. Abrégé théorique, étude de cas modèles. Dunod.
- Bergez J.E., Colbach N, Crespo O, Garcia F, Jeuffroy M.H., Justes E, Loyce C, Munier-Jolain N.M., Sadok W., 2010. Designing crop management systems by simulation. *European Journal of Agronomy*, 32, 3-9.
- Bergez J.E., Debaeke P., Deumier J.M., Lacroix B., Leenhardt D., Leroy P., Wallach D., 2001. MODERATO: an object-oriented decision model to help on irrigation scheduling for corn crop. *Ecological Modelling*, 137, 43–60.
- Binder CR, Feola G, Steinberger J.K., 2010. Considering the normative, systemic and procedural dimensions in indicator-based sustainability assessments in agriculture. *Environmental Impact Assessment Review*, 30 (2):71-81.
- Blazy J.M., Dorel M., Salmon F., Ozier-Lafontaine H., Wery J., Tixier P., 2009. Model-based assessment of technological innovation in banana cropping systems contextualized by farm types in Guadeloupe. *European Journal of Agronomy*, 31, 10–19
- Blazy J.M., Tixier P., Thomas A., Ozier-Lafontaine H., Salmon F., Wery J., 2010. BANAD: A farm model for ex ante assessment of agro-ecological innovations and its application to banana farms in Guadeloupe. *Agricultural Systems*, 103, 221–232.
- Bockstaller C, Guichard L., Makowski D., Aveline A., Girardin P., Plantureux S., 2008. Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 139-149.
- Bockstaller C., Girardin P., 2003. How to validate environmental indicators. *Agricultural Systems*, 76, 639–653.
- Bockstaller C., Girardin P., 2006. Evaluation agri-environnementale des systèmes de culture : la méthode INDIGO. *Oléoscope*, 85, 4-6.

- Bockstaller C., Guichard L., Keichinger O., Girardin P., Galan M.-B., Gaillard G., 2009. Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 223-235.
- Boiffin I., Malezieux E., Picard D., 2001. Cropping Systems for the Future, in: *Crop Science*, Nösberger J., Geiger HH., Struik PC., Cab International, 261–279.
- Boller EF., Avilla J., Joerg E., Malavolta C., Wijnands FG., Esberg P., 2004. Integrated production, principles and technical guidelines. *IOPC wprs Bull.*, 27(2).
- Boller EF., Malavolta C., Jörg E., 1997. Guidelines for integrated production of arable crops in Europe. Technical guidelines III. *IOBC/WPRS Bulletin*, 20, 5-19.
- Boussard J.M., 1970. *Programmation mathématique et théorie de la production agricole*. Paris, Ed. Cujas, 248p.
- Bowman M. S., Zilberman D., 2013. Economic Factors Affecting Diversified Farming Systems. *Ecology and Society* 18(1): 33.
- Breiman L., Friedman J.H., Olshen R.A., Stone C.J., 1984. *Classification and Regression Trees*. Chapman and Hall. Wadsworth, Inc., New York, USA.
- Brisson N., Gary C., Justes E., Roche R., Mary B., Ripoche D., Zimmer D., Sierra J., Bertuzzi P., Burger P., Bussi re F., Cabidoche Y.-M., Cellier P., Debaeke P., Gaudill re P., H nault C., Maraux F., Seguin B., Sinoquet H., 2003. An overview of the crop model STICS. *European Journal of Agronomy*, 18, 309-332.
- Brooke A., Kendrick D., Meeraus A., Raman R., 1998. *GAMS. A User's Guide*. GAMS Development Corporation, Washington, USA. Available at: <http://www.gams.com>
- Brunet N., Guichard L., Omon B., Pingault N., Pleyber E., Seiler A., 2008. L'indicateur de fréquence de traitements (IFT) : un indicateur pour une utilisation durable des pesticides. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 56, 131-141.
- Capillon A., 1993. *Typologie des exploitations agricoles : Contribution à l'étude régionale des problèmes techniques*. Thèse de doctorat de l'INA P-G, Paris, INA P-G, Tome I et II, 48 et 301 p.
- Capillon A., Caneill J., 1987 - Du champ cultivé aux unités de production : un itinéraire obligé pour l'agronome. *Cah. ORSTOM, S r. Sci. Hum.*, 23(3-4), 409-420
- Caneill J., Capillon A., 1990 - La destination des déjections animales en montagne : un enjeu pour les relations entre activité agricole et préservation de l'environnement. *Fourrages*, 123, 313-328.
- Carpentier A., Letort E., 2014. Multicrop production models with multinomial logit acreage shares. *Environmental and Resource Economics*, 59, 5537-559.
- Castellazzi M. S., Wood G., Burgess P. J., Morris J., Conrad K. F., Perry J. N., 2008. A systematic representation of crop rotations. *Agricultural Systems*, 97(1-2), 26–33.
- Chantre E., Ballot R., Bockstaller C., Domange N., Gibaud C., Guichard L., Jaubertie C., 2012. Démarche territoriale de construction de scénarios d'évolution des pratiques agricoles, visant à accompagner l'élaboration des plans d'actions dans les Aires d'Alimentation de Captages. *Rapport de recherche*.
- Charles R., Wirth J., Buchi L., Justes E., Sarthou J.-P., 2013. Couverts végétaux et allélopathie : où en est la Recherche ? *TCS. Techniques Culturelles Simplifiées*, 71.
- Chauvel B., Guillemain JP., Colbach N., Gasquez J., 2001. Evaluation of cropping systems for management of herbicide-resistant populations of blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Crop Protection*, 20, 127-137.
- Chauvel B., Tschudy C. Munier-Jolain NM., 2011. Gestion intégrée de la flore adventice dans les systèmes de culture sans labour. *Cahiers Agriculture*, 20, 194-203.

- Chikowo R., Faloya V., Petit S., Munier-Jolain N.M., 2009. Integrated weed management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 132, 237–242.
- Colbach N., Collard A., Guyot S.H.M., Mézière D., Munier-Jolain N., 2014. Assessing innovative sowing patterns for integrated weed management with a 3D crop: weed competition model. *European Journal of Agronomy*, 53:74-89.
- Colbach N., Lucas P., Meynard J. M., 1997. Influence of crop management on take-all development and disease cycles on winter wheat. *Phytopathology*, 87, 26-32.
- Colomb B., Carof M., Aveline A., Bergez JE., 2013. Stockless organic farming: strengths and weaknesses evidenced by a multicriteria sustainability assessment model. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 593-608.
- CORPEN, 2006. Des indicateurs pour générer des actions de maîtrise des pollutions à l'échelle de la parcelle, de l'exploitation et du territoire. Groupe azote/Indicateurs.113p.
- Craheix D., Angevin F., Bergez JE., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T., 2012. MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable. *Innovations Agronomiques*, 20, 35-48.
- Davis A.S., Hill J.D., Chase C.A., Johanns A.M., Liebman M., 2012. Increasing cropping system diversity balances productivity, profitability and environmental health. *PLoS One*. 7,(10): e47149. doi:10.1371/journal.pone.0047149
- Alterre Bourgogne, 2009. Pesticide au quotidien. Rapport technique. 66p.
- Debaeke P., 1988. Dynamique de quelques dicotyledones adventices en culture de cereale. 1 Relation flore levee - stock semencier. *Weed Research*, 28, 251-263.
- Debaeke P., Munier-Jolain NM., Bertrand M., Guichard L., Nolot J.M., Faloya V., Saulas P., 2009. Iterative design and evaluation of rule-based cropping systems: methodology and case studies. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 73-86
- Debaeke P., Petit M.S., Bertrand M., Mischler P., Munier-Jolain N., Nolot J-M, Reau R., Verjux N., 2008. Evaluation des systèmes de culture en stations et en exploitations agricoles : où en sont les méthodes. In Reau R., Doré T., (Eds.) 2008. *Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* Educagri, Dijon, France.
- Deytieux V., Nemecek T., Knuchel R.F., Gaillard G., Munier-Jolain N.M., 2012. Is Integrated Weed Management efficient for reducing environmental impacts of cropping systems? A case study based on life cycle assessment. *European Journal of Agronomy*. 36, 55-65.
- Deytieux V., Munier-Jolain N.M., Caneill J., 2015. Assessing the sustainability of cropping systems in single- and multi-sites studies. A review of methods. *European Journal of Agronomy*, sous presse.
- Dogliotti S., Rossing W.A.H., Van Ittersum M.K., 2003. ROTAT, a tool for systematically generating crop rotations. *European Journal of Agronomy* 19, 239–250
- Dogliotti S., van Ittersum M.K., Rossing W.A.H., 2005. A method for exploring sustainable development options at farm scale: a case study for vegetable farms in South Uruguay. *Agricultural Systems*. 86, 29–51.
- Dolman M.A., Vrolijk H.C.J., de Boer I.J.M., 2012. Exploring variation in economic, environmental and societal performance among Dutch fattening pig farms. *Livestock Science*, 149, 143-154.
- Dongmo A., Munier-Jolain N.M., 2011. Evaluation des systèmes de culture «économiques en herbicides»: faisabilité technique et rentabilité économique au niveau de l'exploitation agricole. *Cahiers Agricultures*, 20, 468-479.
- Dury J., Schaller N., Garcia F., Reynaud A., Bergez J. E., 2011. Models to support cropping plan and crop rotation decisions. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 32(2), 567–580.

- Fernandes L.A., Woodhouse P.J., 2008. Family farm sustainability in southern Brazil: an application of agri-environmental indicators. *Ecological Economics*, 66, 243-257.
- Ferron, 1999. Protection intégrée des cultures: évolution du concept et de son application. *Cahiers Agricultures*, 8, 389-96.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAOSTAT). FAO Statistical Databases, <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx> (accessed, Oct. 2013).
- Gerdessen J.C., Pascucci S., 2013. Data Envelopment Analysis of sustainability indicators of European agricultural systems at regional level. *Agricultural Systems*, 118, 78-90.
- Gerowitt B., 2003. Development and control of weeds in arable farming systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 98, 247-254.
- Gigot C., Saint-Jean S., Huber L., Maumené C., Leconte M., Kerhornou B., de Vallavieille-Pope C., 2013. Protective effects of a wheat cultivar mixture against splash-dispersed septoria tritici blotch epidemics. *Plant Pathology*, 62, 1011-1019.
- Gravesen L., 2003. The treatment frequency index—an indicator for pesticide use and dependency as well as overall load on the environment. In: *Reducing Pesticide Dependency in Europe to Protect Health, Environment and Biodiversity*, Copenhagen Pesticides Action Network Europe (PAN), Pure Conference.
- Guichard L., Ballot R., Glachant C., Aubert C., 2013. PERSYST, un outil d'estimation des performances agronomiques de systèmes de culture - Adaptation à l'agriculture biologique en Ile-de-France. *Innovations Agronomiques*, 32, 123-138
- Guichard L., Jacquet F., Jeuffroy M.H., Lamine C., Lemarié S., 2013. Systèmes de production, environnement et politiques publiques : comprendre et accompagner le changement de pratiques en grande culture. *Innovations Agronomiques*, 28, 233-242.
- Hamza M.A., Anderson W.K., 2005. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research*, 82 (2), 121–145.
- Hauswirth D., 2013. Evaluation agro- économique ex-ante de systèmes de culture en agriculture familiale: Le cas de l'agriculture de conservation en zone tropicale humide de montagne (Nord Vietnam). Thèse de doctorat. Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques Montpellier. 152p.
- Hill S. B., Mac Rae R. J., 1995. Conceptual frameworks for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of sustainable agriculture*, 7, 81-87.
- Hoffmann C., Thiery D., 2010. Mating disruption for the control of grape berry moths - Bottlenecks and conditions for adoption in different European grapevine-growing regions. . FRA : ENDURE, 4 p. <http://prodinra.inra.fr/record/47646>
- Itoh T., Ishii H., Nanseki T., 2003. A model of crop planning under uncertainty in agricultural management. *International Journal of Production Economics*, 81– 82, 555–558.
- Jacquet F., Butault J.P., Guichard L., 2011. An economic analysis of the possibility of reducing pesticides in French field crops. *Ecological Economics*, 70, 1638–1648.
- Joannon A., Souchère V., Martin P., Papy F., 2006. Reducing runoff by managing crop location at the catchment level, considering agronomic constraints at farm level. *Land Degradation & Development*, 17, 467-478.
- Kanellopoulos A., Berentsen PBM., van Ittersum MK, Lansink, A., 2012. A method to select alternative agricultural activities for future-oriented land use studies. *European Journal of Agronomy*, 40, 75-85.
- Kein Haneveld WK., Stegeman AW. , 2005. Crop succession requirements in agricultural production planning. *European Journal of Operational Research*, 166 (2), 406–429.

- Klatzmann J., 1959. La technique des programmes linéaires peut-elle être appliquée à la gestion des exploitations agricoles ? *Économie rurale*, 42, 11-16.
- Kurstjens D.A.G., Kropff M.J., Perdok U.D., 2004. Method for predicting selective uprooting by mechanical weeders from plant anchorage forces. *Weed Science*, 52, 123-132.
- Lamine C., Meynard J-M., Perrot N., Bellon S., 2009. Analyse des formes de transition vers des agricultures plus écologiques : les cas de l'Agriculture Biologique et de la Protection Intégrée. *Innovations Agronomiques* 4, 483-493.
- Lammerts van Bueren, F., Blom, F., 1997. Hierarchical Framework for the Formulation for Sustainable Forest Management Standards: Principles, Criteria and Indicators. Tropenbos Foundation, Wageningen, The Netherlands.
- Lançon J., Reau R., Cariolle M., Munier-Jolain N., Omon B., Petit M-S., Viaux P., Wery J., 2008. Elaboration à dire d'experts de systèmes de culture innovants. In : Reau Raymond, Doré Thierry (eds.). *Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?* Dijon : Educagri éd., p. 91-107.
- Lançon J., Wery J., Rapidel B., Angokaye, M., Gérardeaux, E., Gaborel, C., Ballo, D., Fadegnon, B., 2007. An improved methodology for integrated crop management systems. *Agronomy for Sustainable Development* 27, 101–110.
- Launais M., 2011. Evaluation multicritère de systèmes de culture innovants expérimentés en Bourgogne: Impact de la volatilité des prix sur la robustesse économique des systèmes. *Mémoire de fin d'études Agrocampus Ouest*, 52 pages.
- Le Ber F., Benoît M., Schott C., Mari J.-F., Mignolet C., 2006. Studying crop sequences with CARROTAGE, a HMM-based data mining software. *Ecological Modelling*, 191, 170-185.
- Le Lay D., Raynard L., Petit M.S., Munier-Jolain N.M., Nicolardot B., 2010. Multifactor evaluation of an intergrated cropping system. in: J. Wery, I. Shili-Touzi, A. Perin (Eds.) *Agro2010 the XIth ESA Congress*, Agropolis International, Montpellier, France, 2010, pp. 809-810.
- Lechenet M., Bretagnolle V., Bockstaller C., Boissinot F., Petit M.S., Petit S., Munier-Jolain N., 2014. Reconciling Pesticide Reduction with Economic and Environmental Sustainability in Arable Farming. *PLoS ONE*, 9,1-10.
- Leenhardt, D., Angevib, F., Biarnès, A., Colbach, N., Mignolet, C., 2010. Describing and locating cropping systems on a regional scale: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 131–138.
- Lefort G., Sebillotte M., 1964. Application de la programmation linéaire à la détermination du système de production d'une exploitation agricole. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 50, 239-253.
- Lemerle D., Gill G.S., Murphy C.E., Walker S.R., Cousens R.D., Mokhtari S., Peltzer S.J., Coleman R., Luckett D.J., 2001. Genetic improvement and agronomy for enhanced wheat competitiveness with weeds. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52, 527–548.
- Leroy P., Jacquin C., 1991. LORA: a decision support system for the choice of crops on the irrigable area of a farm. *Bruges*, 11 p.
- Leteinturie B., Herman J.L., de Longueville F., Quintin L., Oger R., 2006. Adaptation of a crop sequence indicator based on a land parcel management system. *Agriculture, Ecosystems and Environnement*. 112, 324-334.
- Lewandowski I., Härdtlein M., Kaltschmitt M., 1999. Sustainable crop production: definition and methodological approach for assessing and implementing sustainability. *Crop Science*, 39, 184–193.
- Lichtfouse E., Navarrete M., Debaeke P., Souchere V., Alberola C., Menassieu J., 2009. Agronomy for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 1-6.

- Loyce et Wery, 2006. Les outils des agronomes pour l'évaluation et la conception de systèmes de culture. In : Doré T, Le Bail M, Martin P, Ney B, Roger-Estrade J, eds. L'agronomie aujourd'hui. Paris : éditions Quae, 2006.
- Lucas P., 2007. Le concept de la protection intégrée des cultures. *Innovations Agronomiques*, 1, 15-21.
- Machet J.M., Laurent F., Chapot J.Y., Doré T. , Dulout A., 1996. Maîtrise de l'azote dans les intercultures et les jachères. In : Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes. Les colloques n°83 INRA Editions, 289-312.
- Maxime F., Mollet J.M., Papy, F., 1995. Aide au raisonnement de l'assolement en grande culture. *Cahiers Agricultures*, 4(5), 351-362.
- McCarl B. A., Candler W. V., H Doster D., Robbins P. R.,1977. Experiences with farmer oriented linear programming for crop planning. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 25(1),17–30.
- Meiss H, Le Lagadec L, Munier-Jolain NM, Waldhardt R, Petit S, 2010c. Weed seed predation increases with vegetation cover in perennial forage crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 138, 10-16.
- Meiss H, Médiéenne S, Waldhardt R, Caneill J, Munier-Jolain NM, 2010a. Contrasting weed species composition in perennial lucernes and six annual crops: implications for Integrated Weed Management. *Agronomy for Sustainable Development*, 30, 657-666.
- Meiss H, Médiéenne S, Waldhardt R, Caneill J, Reboud X, Munier-Jolain NM , 2010b. Perennial lucernes affect weed community trajectories in grain crop rotations. *Weed Research*, 50, 331-340.
- Meynard J.M., 2012. La reconception est en marche ! *Innovations Agronomiques*, 20, 143-153.
- Meynard J.M., Dore T., Lucas P., 2003. Agronomic approach: cropping systems and plant diseases. *Comptes Rendus Biologies*. 326, 37-46.
- Meynard J.M., Messéan A., Charlier A., Charrier F., Fares M., Le Bail M., Magrini M.B., Savini I., 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières. Synthèse du rapport d'étude, INRA, 52 p.
- Mézière D., Colbach N., Dessaint F., Granger S., 2015. Which cropping systems to reconcile weed-related biodiversity and crop production in arable crops? An approach with simulation-based indicators. *European Journal of Agronomy*, 68, 22-37.
- Mignolet C., 2013. Changement d'usage des terres par l'agriculture en France depuis les années 1970 : une spécialisation des territoires aux conséquences environnementales majeures. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 99, 140-141.
- Mignolet C., Schott C., Benoît M., 2004. Spatial dynamics of agricultural practices on a basin territory: a retrospective study to implement models simulating nitrate flow. The case of the Seine basin. *Agronomie*, 24, 219–236.
- Mignolet C., Schott C., Benoît M., 2007. Spatial dynamics of farming practices in the Seine basin: Methods for agronomic approaches on a regional scale. *Science of the Total Environment*, 375, 13–32.
- Mischler P., Lheureux S., Dumoulin F., Menu P., Sene O., Hopquin J.P. , Cariolle M., Reau R., Munier-Jolain N., Faloya V., Boizard H., Meynard J.M., 2009. Huit fermes de grande culture engagées en production intégrée réduisent les pesticides sans baisse de marge. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 57, 73-91.
- Moreau D., Millard G., Munier-Jolain N., 2013. A plant nitrophily index based on plant leaf area response to soil-nitrogen availability. *Agronomy for Sustainable Development*, 33, 809-815
- Mottet A., Ladet S., Coqué N., Gibon A., 2006. Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: a case study in the pyrenees. *Agriculture, Ecosystems & Environment* , 114 (2–4), 296–310.

- Munier-Jolain N.M., 2011. Conception et évaluation de systèmes de culture innovants : le cas exemplaire de la Protection Intégrée contre la flore adventice. *Agronomie, Environnement & Société*, 1, 5.
- Munier-Jolain N.M., Chauvel B., Gasquez J., 2005. Stratégies de protection intégrée contre les adventices des cultures : le retour de l'agronomie. In : *Enjeux phytosanitaires pour l'agriculture et l'environnement*. Ed C Regnault-Roger. Lavoisier, Paris. pp 411-430.
- Munier-Jolain N.M., Deytieux V., Guillemain J.P., Granger S., Gaba S., 2008. Conception et évaluation multicritères de prototypes de systèmes de culture dans le cadre de la Protection Intégrée contre la flore adventice en grandes cultures. *Innovations Agronomiques* 3, 75-88.
- Munier-Jolain N.M., Dongmo A., 2010. Évaluation de la faisabilité technique de systèmes de Protection Intégrée en termes de fonctionnement d'exploitation et d'organisation du travail. Comment adapter les solutions aux conditions locales ? *Innovations Agronomiques*, 8, 57-67.
- Munier-Jolain N.M., Parisi L., Alaphilippe A., Brun L., Caffier V., Deytieux V., Didelot D., Lemarquand A., Simon S., 2011. La combinaison de méthodes, fondement de la protection intégrée. In : *Repenser la protection des cultures – innovations et transitions ?* Coord. Ricci P., Bui S., Lamine C., Educagri Editions, pp 58-80.
- Nemecek, T., Dubois, D., Huguenin-Elie, O., Gaillard, G., 2011. Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural Systems*, 104, 217-232.
- Nolot J.M., Debaeke P., 2003. Principles and tools for the design, management and evaluation of cropping systems. *Cahier Agricultures*, 12, 387-400.
- OECD, 2001. *Environmental Indicators for Agriculture, Volume 3: Methods and Results*. France, Paris.
- Pardo G., Riravololona M., Munier-Jolain N.M., 2010. Using a farming system model to evaluate cropping system prototypes : are labour constraints and economic performances hampering the adoption of Integrated Weed Management ? *European Journal of Agronomy*, 33, 24-32.
- Perronne R., Le Corre V., Bretagnolle V., Gaba S., 2015. Stochastic processes and crop types shape weed community assembly in arable fields. *Journal of Vegetation Science*, 26, 348-359.
- Petit M.S., Challan-Belval C., Blosserville N., Blancard S., Castel T., Lecomte C5, Duc G., 2012a. Un exemple de gestion de systèmes de polyculture élevage à l'échelle de territoires : le cas des protéagineux et de l'élevage de monogastriques en Bourgogne. *Innovations Agronomiques*, 22, 135-157.
- Petit M.S., Reau R. , Dumas M. , Moraine M. , Omon B., Josse S., 2012b. Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil. *Innovations agronomiques*, 20, 79-100.
- Pillet E., et al., 2014. Réseau DEPHY-FERME, synthèse des premiers résultats à l'échelle nationale. 50 p.
- Pingault N., Pleyber E., Champeaux C., Guichard L., Omon, B., 2009. Produits phytosanitaires et protection intégrée des cultures: l'indicateur de fréquence de traitement (IFT), Notes et Etudes Economiques, Ministère de l'agriculture et de la pêche, n° 32.
- Poitout S., 1998. La production intégrée en Europe : 20 ans après le message d'Ovronnaz. 2 .2. L'OILB/SROP et la production intégrée. *Bulletin OILB/SROP* 21 (1), 8-12.
- Potier D., 2014. Pesticides et Agro-écologie, les champs du possible. *Rapport parlementaire*, 201 p.
- Prato T., Herath G., 2007. Multiple-criteria decision analysis for integrated catchment management. *Ecological Economics*, 63, 627-632.

- Rapidel B, Traore B.S., Sissoko F, Lancon J, Wery J., 2009. Experiment-based prototyping to design and assess cotton management systems in West Africa. *Agronomy for Sustainable Development*, 29: 545-556.
- Rasmussen I.A., 2004. The effect of sowing date, stale seedbed, row width and mechanical weed control on weeds and yields of organic winter wheat. *Weed Research*, 44, 12–20.
- Reau R., Meynard J.M., Robert D., Gitton C., 1996. Des essais factoriels aux essais “conduite de culture”. In : *Expérimenter sur les conduites de cultures: un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation*. Ministère de l’agriculture, Acta, Comité potentialités, 52-62.
- Ricci P., Bui S., Lamine C., 2011. *Repenser la protection des cultures*. Educagri/Quae editions, 249 p.
- Risler Eugène, 1884-1897. "Géologie agricole : première partie du cours d'agriculture comparée, fait à l'institut national agronomique" Berger-Levrault, Paris, 4 Tomes.
- Richard-Schott F., 2009. « Le Recensement Général de l’Agriculture de 1955, une référence pour les géographes ? ». *Géocarrefour*, 84 (4), 271-279.
- Ripoll-Bosch R., Diez-Unquera B., Ruiz R., Villalba D., Molina E., Joy M., Olaizola A., Bernues, A., 2012. An integrated sustainability assessment of mediterranean sheep farms with different degrees of intensification. *Agricultural Systems*, 105, 46-56.
- Rossing W.A.H., Meynard J.M., van Ittersum M.K., 1997. Model-based explorations to support development of sustainable farming systems: case studies from France and the Netherlands. *European Journal of Agronomy*, 7, 271–283.
- Rounsevell M.D.A., Annetts J.E., Audsley E., Mayr T., Reginster I., 2003. Modelling the spatial distribution of agricultural land use at the regional scale. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 95, 465–479.
- Sarker R.A., Talukdar S., Haque A.F.M.A., 1997. Determination of optimum crop mix for crop cultivation in Bangladesh. *Applied Mathematical Modelling*. 21(10),621–632.
- Savary S., Willocquet L., 2000. Rice pest constraints in Tropical Asia: quantification of yield losses due to rice pests in a range of production situations. *Plant Disease*, 84, 357–369.
- Schaller N., 2011. *Modélisation des décisions d’assolement des agriculteurs et de l’organisation spatiale des cultures dans les territoires de polyculture-élevage*. Thèse de doctorat. AgroPariTech. 384p.
- Schmidt A., Guichard L. Reau R., 2010 *Le colza est très dépendant des pesticides dans les rotations courtes sans labour*. Agreste Synthèse, 7p.
- Schott C, 2012. *Un logiciel dédié à la fouille de données annuelles sur l’occupation du sol*. Manuel d’utilisation. 17p.
- Sebillotte, M., 1978. Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique. *C.R. Acad. Agric. Fr.* 64, 906-914.
- Sebillotte, M., 1990. Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes, in: L. Combe, D. Picard (Eds.) *Les systèmes de culture*, INRA, Paris, pp. 165-196.
- Stöckle C.O., Donatelli M., Nelson R., 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy*, 18, 289-307
- Stoorvogel J.J., Bouma J., Orlich R.A., 2004. Participatory research for systems analysis: prototyping for a Costa Rican banana plantation. *Agronomy Journal*, 96, 323–336.
- Thenail C., Baudry J., 2004. Variation of farm spatial land use pattern according to the structure of the hedgerow network (bocage) landscape: a case study in northeast Brittany. *Agr. Ecosyst. Environ.* 101, 53–72.

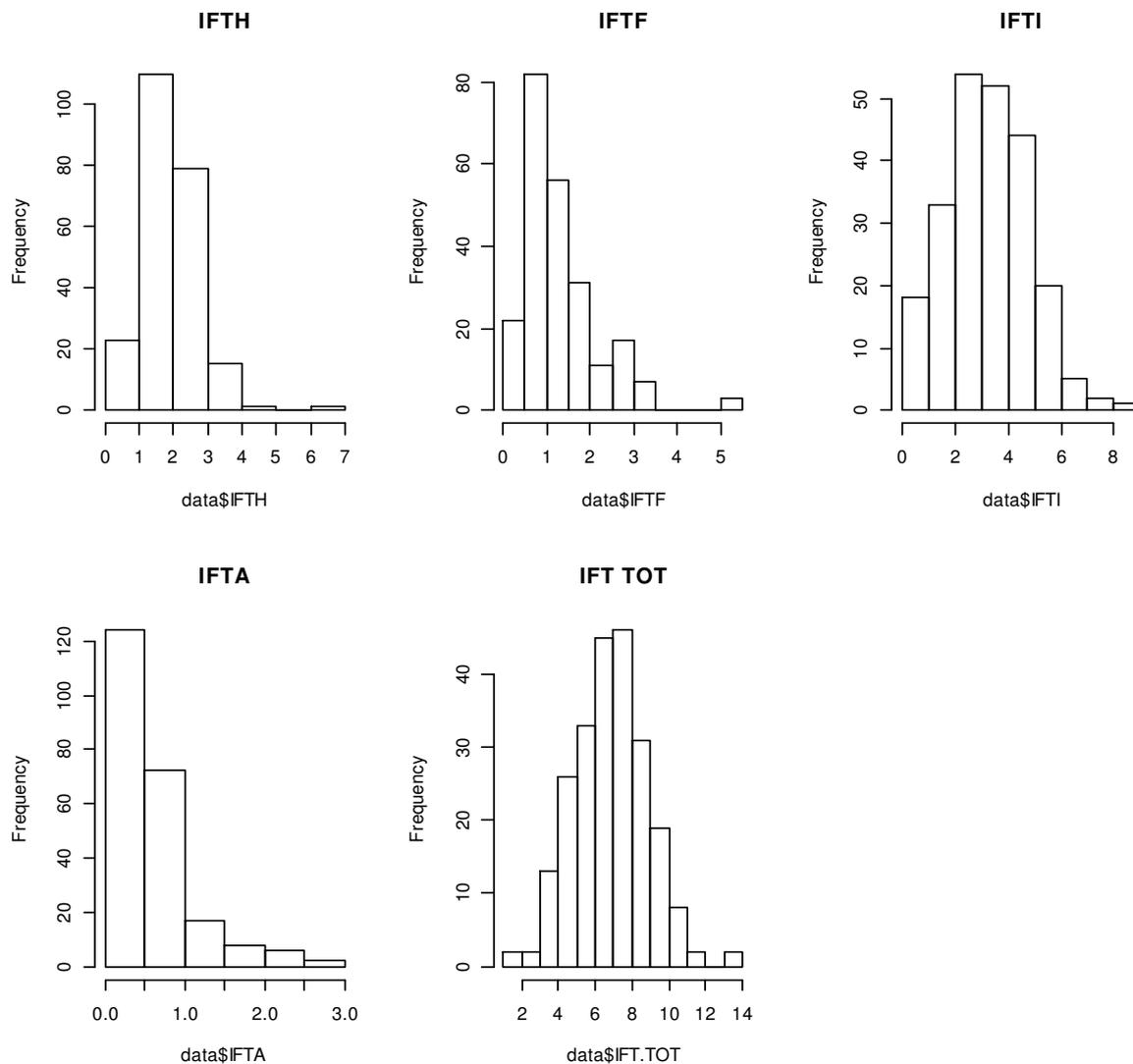
- Therond O., Hengsdijk H., Casellas E., Wallach D., Adam M., Belhouchette H., Oomen R., Russell G., Ewert F., Bergez J.E., Janssen S., Wery J., Van Ittersum M.K., 2011. Using a cropping system model at regional scale: Low-data approaches for crop management information and model calibration. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 142, 85-94.
- Ubertosi M., Vautier A., Curmi P., Lamy C., Toussaint H., Castel T., Richard Y., Amiotte-Suchet P., 2009. Evaluation de la réserve en eau à l'échelle des pédopaysages de Bourgogne. 33<sup>èmes</sup> journées scientifiques GFHN : Teneur en eau et transferts en milieux poreux : mesures et statistiques à l'échelle stationnelle, Aix en Provence, 25 – 26 novembre 2009.
- Valantin-Morison M., 2012. Comment favoriser la régulation biologique des insectes de l'échelle de la parcelle à celle du paysage agricole, pour aboutir à des stratégies de protection intégrée sur le colza d'hiver ? *Oleagineux Corps Gras Lipides*, 19,169-183.
- Valantin-Morison M., Meynard J.M., Grandeau G., Bonnemort C., Chollet D., 2003. Yield variability of organic winter oil seed rape (WOSR) in France: a diagnosis on a network of farmers fields. In: *Towards enhanced value of cruciferous oilseed crops by optimal production and use of the high quality seed components*. GCIRC, Copenhagen.
- Van Cauwenbergh N., Biala, K., Bielders C., Brouckaert V., Franchois L., Ciudad V.G., Hermy M., Mathijs E., Muys B., Reijnders J., Sauvenier X., Valckx J., Vanclooster M., Veken B.v.d., Wauters E., Peeters A., 2007. SAFE - a hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 120, 229-242.
- Van der Werf H, Zimmer C., 1998. An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. *Chemosphere*, 36, 2225–2249.
- Vasileiadis V.P., Moonen A.C., Sattin M., Otto S., Pons X., Kudsk P., Veres A., Dorner Z., van der Weide R., Marraccini E., Pelzer E., Angevin F., Kiss J., 2013. Sustainability of European maize-based cropping systems: Economic, environmental and social assessment of current and proposed innovative IPM-based systems. *European Journal of Agronomy*, 48, 1-11.
- Vereijken P., 1997. A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. *European Journal of Agronomy*, 7, 235-250.
- Viaux P., 2013. *Système intégrée: une troisième voie en grande culture*. 2<sup>ème</sup> édition. Editions France Agricole. 377p.
- WCED, 1987. (World Commission on Environment and Development). *Our common future* (Brundtland report). Oxford University Press.
- Westerman P., Liebman M., Menalled F.D., Heggenstaller A.H., Hartzler R.G., Dixon P.M., 2005. Are many little hammers effective? - Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) population dynamics in two- and four-year crop rotation systems. *Weed Science*, 53, 382-392.
- Xiao Y., Mignolet, C., Mari J.-F., Benoit M., 2014. Modeling the spatial distribution of crop sequences at a large regional scale using land-cover survey data : A case from France. *Computers and Electronics in Agriculture*, 51-63.
- Yu Q., Han H., Cawthray G.R., Wang S.F., Powles S.B., 2013. Enhanced rates of herbicide metabolism in low herbicide-dose selected resistant *Lolium rigidum*. *Plant Cell and Environment*, 36, 818-827.
- Zahm F., Girardin P., Mouchet C., Viaux P., Vilain L., 2005. De l'évaluation de la durabilité des exploitations agricoles à partir de la méthode IDEA à la caractérisation de la durabilité de la ferme européenne à partir d'IDERICA". Colloque international sur les Indicateurs Territoriaux du Développement Durable, Université Paul Cézanne, Aix en Provence, 1-2 décembre 2005.



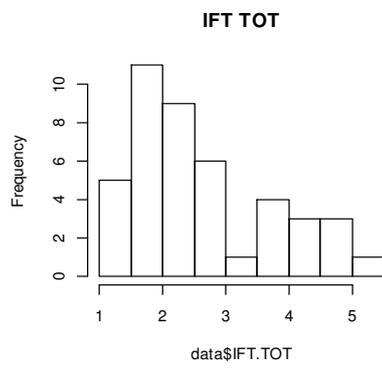
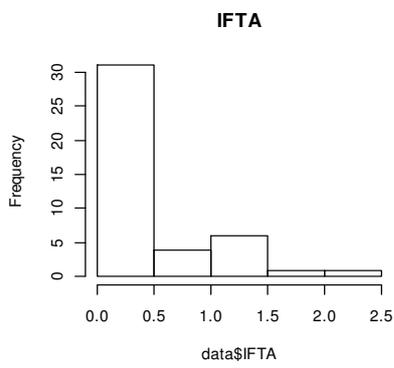
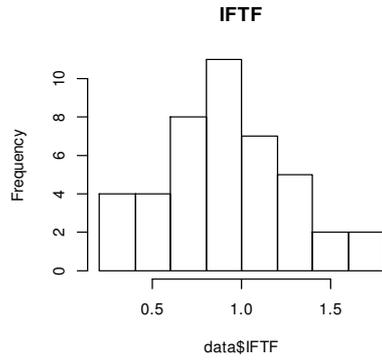
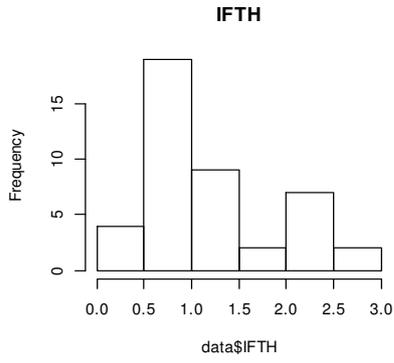
## **Annexes**

**Annexe 1A : Distribution des IFT calculés à partir des données de l'enquête « pratiques culturales » (SSP, 2006) pour les différents types de pesticides pour: A) Le colza ; B) l'orge de printemps ; C) l'orge d'hiver ; D) le maïs**

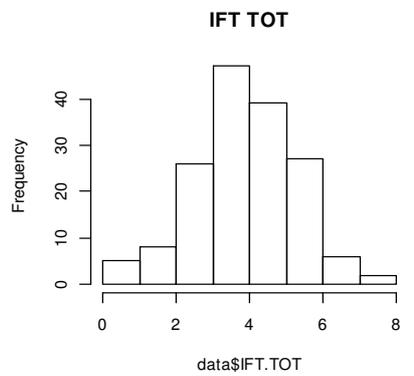
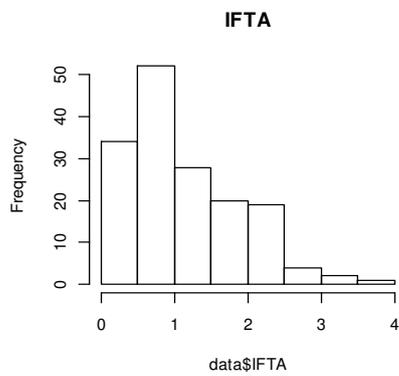
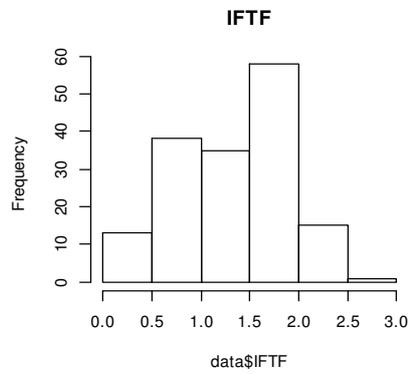
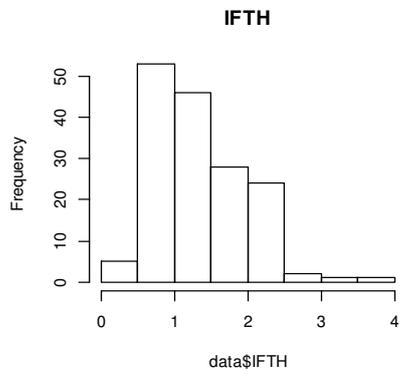
**A. Colza d'hiver**



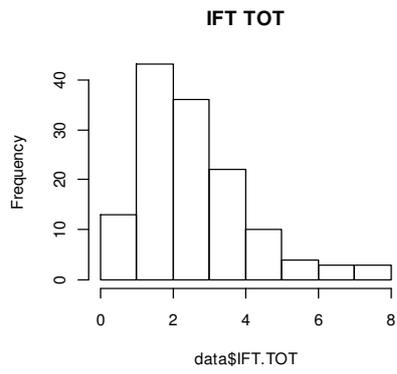
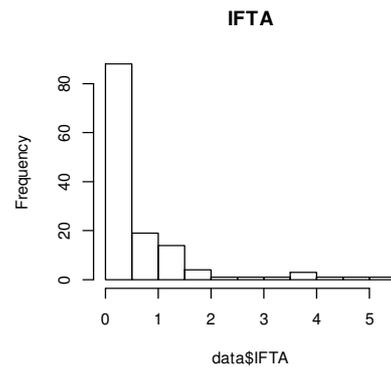
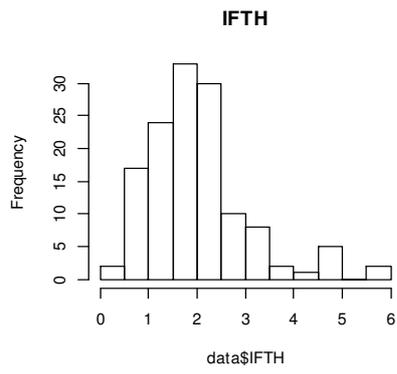
## B. Orge de printemps



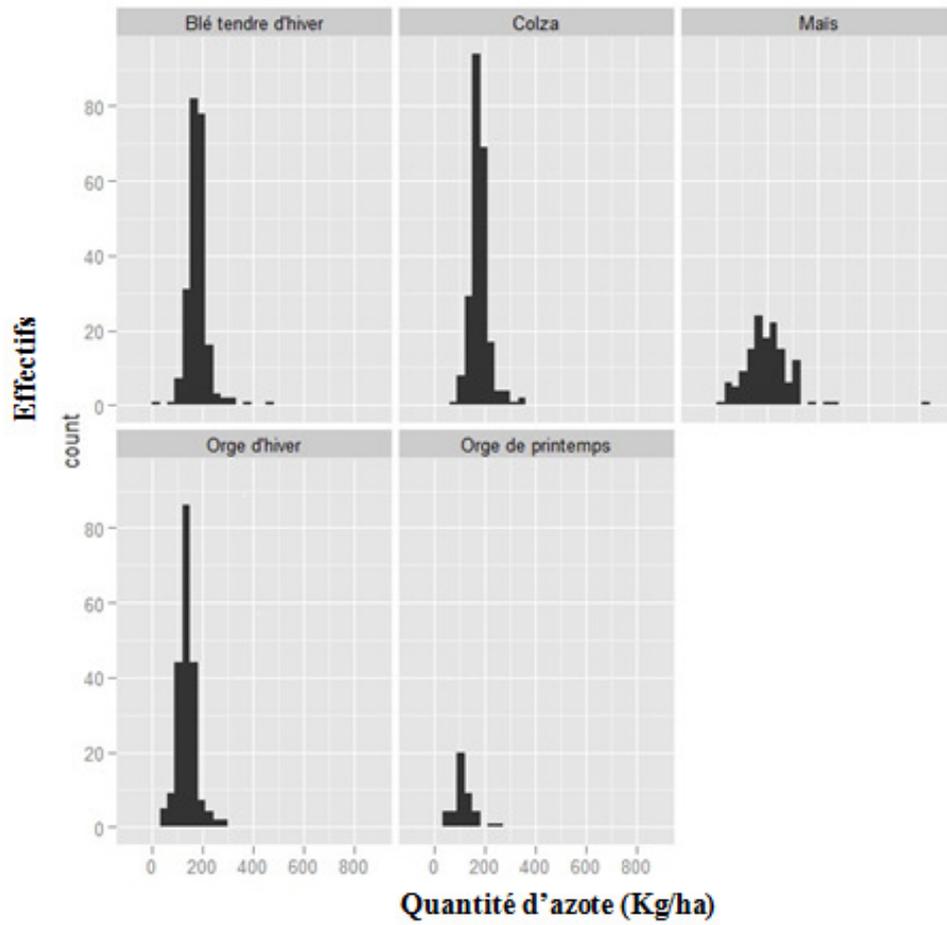
## C. Orge d'hiver



## D. Mais



**Annexe 1B : Distribution des quantités d'azote (minéral et organique) apportées sur blé tendre d'hiver, colza, maïs, orge de printemps et orge d'hiver, fournies par l'enquête « pratiques culturales » du SSP (2006)**

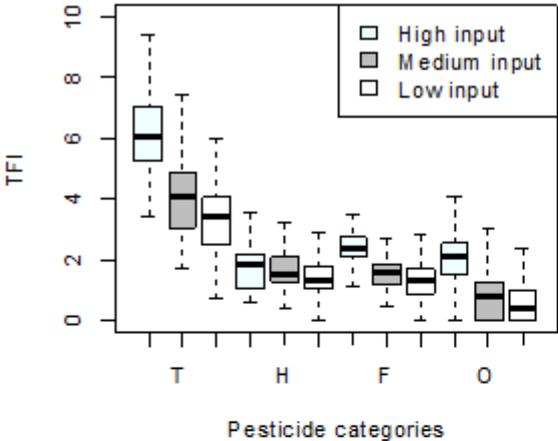


**Annexe 2. Seuils choisis pour la transformation des variables quantitatives descriptives des itinéraires techniques en variables qualitatives, pour les différentes cultures**

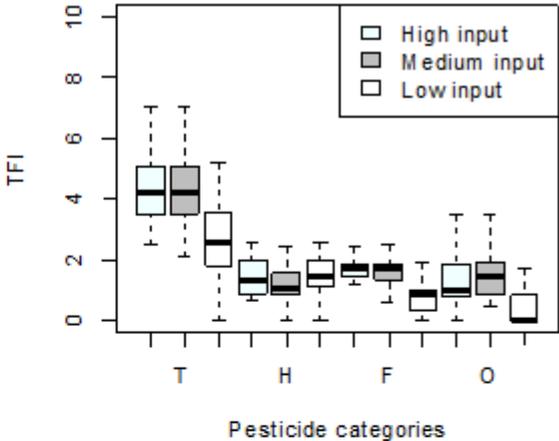
	IFT Herbicide		IFT Fongicide		IFT Insecticide		IFT Autre		Azote (kg/ha)	
	Faible	Elevé	Faible	Elevé	Faible	Elevé	Faible	Elevé	Faible	Elevé
Blé tendre d'hiver	1,2	1,8	1,2	2,1	-	-	1	1,8	150	220
Orge d'hiver	1	1,7	1	1,7	-	-	0	1	120	160
Orge de printemps	0,8	1,3	0,7	1,3	-	-	0	0,5	120	160
Colza	1,5	2,2	0,7	1,3	1	1,8	0	0,7	140	200
Maïs	1,2	1,8	-	-	-	-	0,6	1,3	90	150

**Annexe 3A : Variabilité de l'IFT (enquête « pratiques culturales » du SSP, 2006) pour les différents niveaux d'intensification identifiés par l'analyse des correspondances multiple et la classification hiérarchique, pour toutes les cultures**

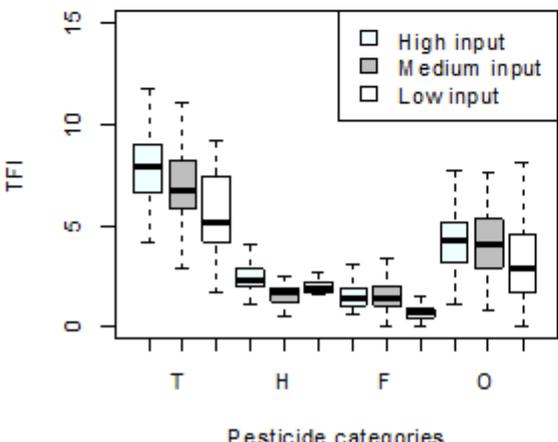
**Winter wheat**



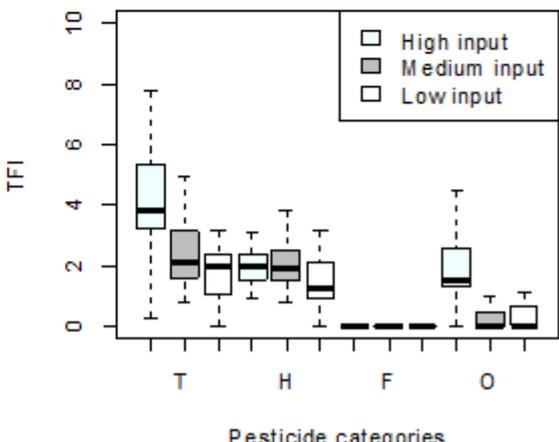
**Winter barley**



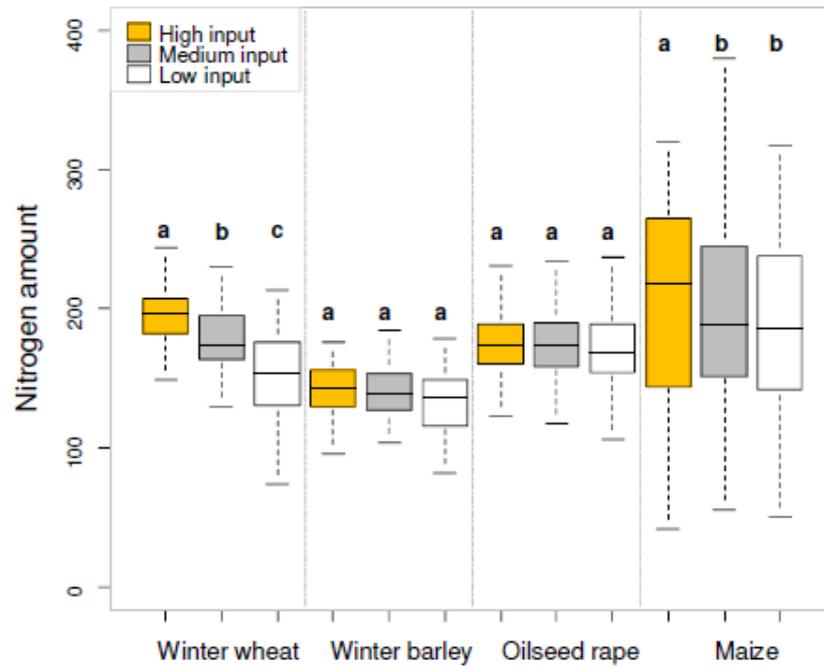
**Oilseed rape**



**Maize**



**Annexe 3B : Variabilité des quantités d'azote apportées (enquête « pratiques culturales » du SSP, 2006) pour les différents niveaux d'intensification identifiés par l'analyse des correspondances multiple et la classification hiérarchique, pour toutes les cultures**



**Annexe 4. Tableau de contingence des effectifs dans chaque groupe pour les deux typologies de situation de production réalisées par analyses multivariées(ACM) et par la méthode CART**

Groupes ACM	Groupes CART					
	1	2	3	4	5	6
A	52	42	140	10	34	4
B	14	21	1	9	24	49
C	171	165	3	2	5	15

Valeur du chi-2 et probabilité

X-squared=570.5291 (p-value<2.2 e-16)

**Annexe 5. Scénarios de prix de vente des cultures et des intrants élaborés par Launais (2011)**

	S1(€/T)	S2 (€/T)	S3 (€/T)	S4 (€/T)	S5 (€/T)	S6 (€/T)	S7 (€/T)	S8 (€/T)	S9 (€/T)	S10 (€/T)
Blé tendre d'hiver	81,49	113,12	104,45	95,00	108,50	126,19	142,00	215,75	172,50	230,20
Colza d'hiver	213,50	241,70	234,10	285,67	258,70	307,50	251,33	460,00	427,50	347,00
Triticale	97,85	95,50	112,36	94,99	77,59	144,98	182,35	94,99	144,98	182,35
Maïs	94,38	129,00	128,50	106,88	103,10	111,80	144,50	185,40	165,67	191,40
Soja	174,21	208,03	139,49	245,33	259,91	233,82	205,13	340,35	324,38	230,20
Tournesol	265,00	226,80	215,00	305,00	231,00	249,50	265,00	474,40	561,67	445,00
Orge d'hiver	74,63	100,70	87,45	74,75	77,50	108,40	152,50	178,20	147,00	221,60
Féverole d'hiver	130,00	173,00	129,20	144,50	244,38	159,00	263,00	262,50	267,50	325,00
Féverole de printemps	130,00	173,00	129,20	144,50	244,38	159,00	263,00	262,50	267,50	325,00
Pois d'hiver	109,88	131,40	109,40	133,38	131,40	159,20	175,50	207,20	192,50	227,80
Pois de printemps	109,88	131,40	109,40	133,38	131,40	159,20	175,50	207,20	192,50	227,80
Lupin de printemps	150,00	140,00	138,00	303,00	360,00	360,00	220,00	303,00	360,00	220,00
Moutarde d'hiver	390,00	440,00	440,00	770,00	789,00	1089,00	600,00	770,00	1089,00	600,00
Moutarde de printemps	390,00	440,00	440,00	770,00	789,00	1089,00	600,00	770,00	1089,00	600,00
Sorgho	86,88	121,50	120,50	99,38	95,60	104,30	137,00	177,90	158,17	183,90
Chanvre	77,44	78,80	82,44	100,00	93,28	102,99	95,51	100,00	102,99	95,51
Luzerne	135,03	131,97	100,00	116,00	111,00	136,00	131,00	116,00	136,00	131,00

**Annexe 6A : Rendements (faibles, moyens et élevés) des cultures candidates à la diversification estimés par expertise et des cultures des systèmes actuels pour la plaine et le nord de l'Yonne**

		Rendement moyen (q/ha)	Rendement faible (q/ha)	Rendement élevé (q/ha)
<b>Conduite en production intégrée</b>	<b>Blé tendre d'hiver</b>	70	50	80
	<b>Colza</b>	27	17	42
	<b>Triticale</b>	62	42	72
	<b>Maïs</b>	60	20	90
	<b>Tournesol</b>	25	5	35
	<b>Soja non irrigué</b>	21	11	26
	<b>Soja irrigué</b>	25	20	30
	<b>Orge d'hiver</b>	79	59	89
	<b>Orge de printemps</b>	53	33	68
	<b>Féverole d'hiver</b>	41	26	56
	<b>Féverole de printemps</b>	41	26	56
	<b>Pois d'hiver</b>	41	36	56
	<b>Pois de printemps</b>	41	36	56
	<b>Lupin de printemps</b>	32	27,5	47,5
	<b>Moutarde d'hiver</b>	22	12	32
	<b>Moutarde de printemps</b>	18	8	28
	<b>Sorgho non irrigué</b>	73	38	118
	<b>Sorgho irrigué</b>	78	43	123
<b>Chanvre</b>	90	6	100	
<b>Conduite en conventionnelle</b>	Blé tendre d'hiver fort intrant	81	61	91
	Blé tendre d'hiver intrant intermédiaire	77	57	87
	Blé tendre d'hiver faible intrant	72	52	82
	Colza d'hiver fort intrant	37	27	52
	Colza d'hiver intrant intermédiaire	36	26	51
	Colza d'hiver faible intrant	35	26	51
	Orge d'hiver fort intrant	79	69	94
	Orge d'hiver intrant intermédiaire	79	69	94
	Orge d'hiver faible intrant	68	58	83
	Tournesol fort intrant	27	17	42
	Tournesol faible intrant	25	15	40

**Annexe 6B : Rendements (faibles, moyens et élevés) des cultures candidates à la diversification estimés par expertise et des cultures des systèmes actuels pour les plateaux**

		Rendement moyen (q/ha)	Rendement faible (q/ha)	Rendement élevé (q/ha)
<b>Conduite en production intégrée</b>	Blé tendre d'hiver	60	40	70
	Colza d'hiver	25	10	35
	Triticale	52	35	62
	Maïs non irrigué	30	10	50
	Tournesol	18	10	25
	Soja non irrigué	20	7	30
	Orge d'hiver	60	40	70
	Orge de printemps	45	30	55
	Féverole d'hiver	30	15	40
	Féverole de printemps	30	15	40
	Pois d'hiver	35	25	40
	Pois de printemps	35	25	40
	Lupin de printemps	22	12	30
	Moutarde d'hiver	12	5	20
	Moutarde d'hiver	12	5	20
	Sorgho non irrigué	40	20	60
Chanvre	60	40	80	
<b>Conduite en conventionnelle</b>	Blé tendre d'hiver fort intrant	78	58	88
	Blé tendre d'hiver intrant intermédiaire	72	52	82
	Blé tendre d'hiver faible intrant	76	56	86
	Colza d'hiver fort intrant	27	12	37
	Colza d'hiver intrant intermédiaire	27	12	37
	Colza d'hiver faible intrant	27	12	37
	Orge d'hiver fort intrant	66	46	76
	Orge d'hiver intrant intermédiaire	74	54	84
	Orge d'hiver faible intrant	60	40	70

## Annexe7. Précédents possibles pour chaque culture candidate à la diversification

Précédent	BTH	Oh	Tri	Chv	Co	Op	FevH	FevP	Lu	MB	PH	PP	M	So	Sor	Tour
BTH		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Oh							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tri				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Chv	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Co	X		X													
Op				X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	
FevH	X	X	X		X											
FevP	X	X	X		X											
Lu	X	X	X		X											
MB	X	X	X													
PH	X	X	X		X											
PP	X	X	X		X											
M	X		X	X			X	X	X		X			X		
So	X		X											X		
Sor	X		X				X	X			X			X		X
Tour	X	X	X				X	X			X				X	



**Précédents possibles**  
**Précédents proscrits**

BTH (Blé tendre d'hiver), Oh (Orge d'hiver) ; Op (Orge de printemps) ; Co (Colza) ; Tri(Triticale) ; Chv(Chanvre) ; FevP (Fèverole de printemps), FevH (Fèverole d'hiver) ; Lu (Lupin) ; MB (Moutarde brune) ; PP( Pois de printemps) ; PH( Pois d'hiver) ; M (Maïs) ; So (Soja) ; Sor (Sorgho) ; Tour (Tournesol)

**Annexe 8. Construction des 30 scénarios combinant le prix de vente des cultures et des intrants et le niveau de rendement pour les cultures d'hiver, d'été et de printemps**

	Scénario de prix	Niveau du rendement		
		Cultures d'hiver	Cultures d'été	Cultures de printemps
scénario 1	3	MOYEN	ÉLEVÉ	MOYEN
scénario 2	5	FAIBLE	FAIBLE	MOYEN
scénario 3	8	MOYEN	ÉLEVÉ	FAIBLE
scénario 4	4	MOYEN	ÉLEVÉ	ÉLEVÉ
scénario 5	5	FAIBLE	MOYEN	FAIBLE
scénario 6	8	MOYEN	FAIBLE	MOYEN
scénario 7	4	MOYEN	ÉLEVÉ	ÉLEVÉ
scénario 8	2	ÉLEVÉ	MOYEN	FAIBLE
scénario 9	4	FAIBLE	MOYEN	FAIBLE
scénario 10	3	ÉLEVÉ	MOYEN	ÉLEVÉ
scénario 11	3	MOYEN	ÉLEVÉ	ÉLEVÉ
scénario 12	2	FAIBLE	FAIBLE	MOYEN
scénario 13	4	ÉLEVÉ	MOYEN	FAIBLE
scénario 14	7	ÉLEVÉ	ÉLEVÉ	MOYEN
scénario 15	4	ÉLEVÉ	ÉLEVÉ	MOYEN
scénario 16	1	FAIBLE	MOYEN	MOYEN
scénario 17	1	FAIBLE	FAIBLE	MOYEN
scénario 18	10	ÉLEVÉ	ÉLEVÉ	MOYEN
scénario 19	10	MOYEN	ÉLEVÉ	ÉLEVÉ
scénario 20	1	ÉLEVÉ	FAIBLE	MOYEN
scénario 21	5	FAIBLE	FAIBLE	FAIBLE
scénario 22	8	MOYEN	MOYEN	FAIBLE
scénario 23	7	ÉLEVÉ	FAIBLE	MOYEN
scénario 24	9	ÉLEVÉ	MOYEN	ÉLEVÉ
scénario 25	5	FAIBLE	MOYEN	MOYEN
scénario 26	7	ÉLEVÉ	ÉLEVÉ	ÉLEVÉ
scénario 27	3	MOYEN	FAIBLE	MOYEN
scénario 28	4	ÉLEVÉ	ÉLEVÉ	MOYEN
scénario 29	2	FAIBLE	FAIBLE	ÉLEVÉ
scénario 30	4	FAIBLE	MOYEN	MOYEN

**Annexe 9. Matrice technico-économique construite pour les cultures de diversification et les systèmes actuels : Cas de la Plaine**

# Système de culture actuels - Plaine

Culture	Précédent	Niveau d'intensification	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Travail du sol superficiel	13	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Semis combiné	16	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	16	1	0.21.21	72	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	4	1	Amonitrate 33.5	135	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	6	1	Amonitrate 33.5	285	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Molluscicide	16	1	HELISAN	3	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Herbicide	17	1	Novall	2,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Régulateur	19	1	PARLAY-C	0,65	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Insecticide	19	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,075	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Fongicide	6	1	HORIZON EW	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Insecticide	6	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,075	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Insecticide	8	1	MAVRIK FLO	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Fongicide	9	0,5	Sunorg pro	0,4	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Fongicide	9	0,5	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,025	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	labour	14	1				Charrue brabant
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Travail du sol superficiel	15	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Travail du sol superficiel	15	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Semis combiné	16	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Fertilisation minérale solide	15	1	0.21.21	72	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Fertilisation minérale solide	4	1	Amonitrate 33.5	240	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Fertilisation minérale solide	7	1	Amonitrate 33.5	225	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Fertilisation minérale solide	8	1	Amonitrate 33.5	240	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Herbicide	15	1	TREFLAN EC	2,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Molluscicide	16	1	MAGISEM	1	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Herbicide	16	1	AXTER	1,7	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Herbicide	18	1	Fusilade MAX	1,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Insecticide	20	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,075	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Insecticide	8	1	TALITA	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Fongicide	9	1	PUNCH CS	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Insecticide	11	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,075	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant faible	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Travail du sol superficiel	14	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Travail du sol superficiel	14	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Travail du sol superficiel	15	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Semis combiné	16	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Herbicide	16	1	ROUNDUP MAX	0,075	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Herbicide	16	1	ZEBRA	2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Insecticide	18	1	PEARL EXPERT	0,05	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Herbicide	19	1	STRATOS ULTRA	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Insecticide	19	0,5	AZTEC	0,075	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Insecticide	19	0,5	PEARL EXPERT	0,025	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Régulateur	5	1	PARLAY-C	0,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Insecticide	6	0,5	PEARL EXPERT	0,025	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Fongicide	6	0,5	SUNORG PRO	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Insecticide	8	1	TALSTAR FLO	0,12	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Insecticide	9	0,5	PEARL EXPERT	0,025	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Fongicide	9	0,5	DOLBI	0,25	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Fertilisation minérale solide	22	1	0.21.21	72	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Fertilisation minérale solide	3	1	Amonitrate 33.5	243	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Fertilisation minérale solide	7	1	Amonitrate 33.5	270	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Fertilisation minérale solide	8	1	Amonitrate 33.5	90	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Fertilisation minérale solide	8	1	Amonitrate 33.5	90	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrant intermédiaire	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Travail du sol superficiel	15	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Orge d'hiver	Intrant fort	Travail du sol superficiel	16	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	semis combiné	16	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Colza	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	4	1	Amonitrate 33.5	228	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	6	1	Amonitrate 33.5	294	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	8	1	Amonitrate 33.5	180	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Herbicide	16	1	TRIFLUREX 480	2,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Herbicide	16	1	COLZOR TRIO	4	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fongicide	19	1	CYTHRINE L	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Herbicide	5	1	OGIVE	0,4	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Insecticide	7	1	CYTHRINE L	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Insecticide	8	1	CYTHRINE L	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Insecticide	8	1	MAVRIK FLO	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Insecticide	9	1	BAYTHROID	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fongicide	9	0,5	KIMONO	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fongicide	9	0,5	CARAMBA STAR	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Système de culture actuels - Plaine

Culture	Précédent	Niveau d'intensification	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Travail du sol superficiel	14	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Labour	17	1				Charrue brabant
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Roulage	18	1				Rouleaux type Cambridge
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Semis combiné	20	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Molluscicide	20	1	METAREX	5	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Herbicide	7	0,5	Primus	0,035	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Herbicide	7	0,5	EXEL D+	0,79	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Fongicide	9	0,5	Opus	0,3	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Fongicide	9	0,5	Comet	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Fongicide	11	1	SUNORG PRO	0,8	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	5	1	0.21.21	72	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	5	1	Amonitrate 33.5	150	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	7	1	Amonitrate 33.5	240	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	10	1	Amonitrate 33.5	210	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant fort	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Travail du sol superficiel	14	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Semis combiné	19	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Fertilisation minérale solide	3	1	Amonitrate 33.5	180	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Fertilisation minérale solide	5	1	Amonitrate 33.5	300	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Fertilisation minérale solide	9	1	Amonitrate 33.5	150	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Molluscicide	19	1	METAREX	5	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Régulateur	4	1	CSSUN	2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Herbicide	4	1	ABSOLU	0,5	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Fongicide	4	1	UNIX	0,6	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Fongicide	6	1	OPUS TEAM	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Fongicide	9	0,5	AMISTAR	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Fongicide	9	0,5	CITADELLE	0,625	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Fongicide	9	1	SOLEIL	0,8	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant intermédiaire	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Travail du sol superficiel	15	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Travail du sol superficiel	16	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Roulage	17	1				Rouleaux type Cambridge
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Roulage	18	1				Rouleaux type Cambridge
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Semis combiné	19	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Fertilisation minérale solide	4	1	Amonitrate 33.5	168	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Fertilisation minérale solide	5	1	0.21.21	72	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Fertilisation minérale solide	6	1	Amonitrate 33.5	66	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Fertilisation minérale solide	6	1	Amonitrate 33.5	213	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Fertilisation minérale solide	9	1	Amonitrate 33.5	132	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Herbicide	6	1	MATARA	2,4	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Herbicide	6	1	Primus	0,05	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Fongicide	9	1	EVIDAN	2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Fongicide	11	0,5	ACANTO	0,1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Fongicide	11	0,5	SOLEIL	0,4	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrant faible	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant faible	Travail du sol superficiel	15	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant faible	Broyage	16	1				Broyeur à fléaux
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant faible	Labour	17	1				Charrue brabant
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant faible	Roulage	18	1				Rouleaux type Cambridge
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant faible	Semis	19	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant faible	Fertilisation minérale solide	4	1	Amonitrate 33.5		kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant faible	Fertilisation minérale solide	6	1	N38 so3		l/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant faible	Herbicide	6	1	Archipel	0,25	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant faible	Herbicide	6	1	Huile Seppic	1	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant faible	Fertilisation minérale solide	8	1	Amonitrate 33.5		kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant faible	Fongicide	8	1	Bell	0,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant faible	Fongicide	8	1	Comet	0,3	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant faible	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant fort	Labour	20	1				Charrue brabant
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant fort	Semis combiné	20	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant fort	Molluscicide	20	1	EXTRALLIGEC GRANULES	4	KG	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant fort	Herbicide	6	1	ATLANTIS WG	0,28	KG	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant fort	Herbicide	6	1	HARMONY M	0,045	KG	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant fort	Fongicide	11	1	COMET	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant fort	Fongicide	11	1	OPUS	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	6	1	Amonitrate 33.5		150	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	6	1	0.21.21	72	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	8	1	Amonitrate 33.5		240	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Intrant fort	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Système de culture actuels - Plaine

Culture	Précédent	Niveau d'intensification	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Travail du sol superficiel	14	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Travail du sol superficiel	16	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	labour	17	1				Charrue brabant
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Travail du sol superficiel	19	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Semis combiné	19	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Herbicide	20	1	Chlortocide EL	4	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Fongicide	8	0,5	UNIX	0,25	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Fongicide	8	0,5	OPUS	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Régulateur	8	1	TERPAL	2,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Régulateur	9	1	Bala	0,35	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Fongicide	9	0,5	Twist 500 SC	0,1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Fongicide	9	0,5	Bravo Premium	0,9	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Fertilisation minérale solide	17	1	0.21.21	72	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Fertilisation minérale solide	4	1	Amonitrate 33.5	156	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Fertilisation minérale solide	7	1	Amonitrate 33.5	300	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant intermédiaire	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Travail du sol superficiel	15	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	labour	17	1				Charrue brabant
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Roulage	17	1				Rouleaux type Cambridge
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Semis combiné	19	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Herbicide	20	1	Chlortocide EL	3,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Fongicide	9	0,33	UNIX	0,099	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Fongicide	9	0,33	ACANTO	0,099	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Fongicide	9	0,33	COSINUS	0,066	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Fertilisation minérale solide	5	1	Amonitrate 33.5	216	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Fertilisation minérale solide	6	1	Amonitrate 33.5	300	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Travail du sol profond	15	1				Vibroculteur
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Roulage	15	1				Rouleaux type Cambridge
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Travail du sol profond	17	1				Vibroculteur
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Roulage	17	1				Rouleaux type Cambridge
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Roulage	18	1				Rouleaux type Cambridge
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Semis	18	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Roulage	18	1				Rouleaux type Cambridge
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Herbicide	18	1	ROUNDUP FLASH	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Herbicide	18	1	PARNASS	3,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Herbicide	20	0,5	QUETZAL	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Herbicide	20	0,5	CELTIC	0,9	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Herbicide	6	1	ASSERT 250	2,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fongicide	7	1	KOARA	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Régulateur	8	1	ARVEST	2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fongicide	9	0,5	ACANTO	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fongicide	9	0,5	KOARA	0,4	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	19	1	0.21.21	72	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	4	1	Amonitrate 33.5	174	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	6	1	Amonitrate 33.5	177	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	6	1	Amonitrate 33.5	63	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Système de culture actuels - Plaine

Culture	Précédent	Niveau d'intensification	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Labour	16	1				Charrue brabant
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Travail du sol profond	8	1				Vibroculteur
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Herbicide	8	1	Challenge 600	3	l/ha	Pulvérisateur trainé
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Semis	7	1				Semoir monograine pneumatique
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	8	1	N39	512	l/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	9	1	kieserite	110	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Binage	10	1				Bineuse, inter-rang étroit (45cm)
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Fertilisation minérale solide	11	1	N33,5	507,5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant fort	Moisson	18	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Labour	1	1				Charrue brabant
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Travail du sol superficiel	9	1				Vibroculteur
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Herbicide	8	1				Pulvérisateur trainé
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Herbicide	8	1				Pulvérisateur trainé
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Herbicide	8	1				Pulvérisateur trainé
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Herbicide	8	1				Pulvérisateur trainé
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Semis	7	1				Semoir monograine pneumatique
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Fertilisation minérale solide	13	1	N39	256,5	l/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Intrant faible	Moisson	18	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plaine

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Blé tendre d'hiver	Colza	Broyage	14	1				Broyeur à fléaux
Blé tendre d'hiver	Colza	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Blé tendre d'hiver	Colza	Travail du sol superficiel	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Blé tendre d'hiver	Colza	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	105	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Colza	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Colza	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Colza	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Colza	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Fongicide	10	1	Ogam	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Insecticide	10	0,2	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,015	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Désherbage mécanique	7	1				Herse étrille
Blé tendre d'hiver	Colza	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	105	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Travail du sol superficiel	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Fongicide	10	1	Ogam	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Insecticide	10	0,2	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,015	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Désherbage mécanique	7	1				Herse étrille
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Broyage	14	1				Broyeur à fléaux
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Fongicide	10	1	Ogam	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Insecticide	10	0,2	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,015	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Désherbage mécanique	7	1				Herse étrille
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Blé tendre d'hiver	Maïs	Broyage	14	1				Broyeur à fléaux
Blé tendre d'hiver	Maïs	Labour	14	1				Charrue brabant
Blé tendre d'hiver	Maïs	Travail du sol superficiel	15	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Blé tendre d'hiver	Maïs	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Maïs	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Maïs	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Maïs	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Maïs	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Maïs	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Maïs	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Maïs	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Maïs	Fongicide	10	1	Ogam	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Maïs	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Maïs	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Maïs	Insecticide	10	0,2	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,015	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Maïs	Désherbage mécanique	7	1				Herse étrille
Blé tendre d'hiver	Maïs	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Blé tendre d'hiver	Soja	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Blé tendre d'hiver	Soja	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Soja	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Soja	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Soja	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Soja	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Soja	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Soja	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Soja	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Soja	Fongicide	10	1	Ogam	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Soja	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Soja	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Soja	Insecticide	10	0,2	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,015	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Soja	Désherbage mécanique	7	1				Herse étrille
Blé tendre d'hiver	Soja	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plaine

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Triticale	Colza	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	105	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Colza	Broyage	14	1				Broyeur à fléaux
Triticale	Colza	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Colza	Travail du sol superficiel	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Colza	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Triticale	Colza	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Triticale	Colza	Semis combiné	19	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Triticale	Colza	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Colza	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Colza	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Colza	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Colza	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Colza	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Colza	Insecticide	10	0,2	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,015	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Colza	Molluscicide	21	1	Agrilimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Colza	Désherbage mécanique	7	0,5				Herse étrille
Triticale	Colza	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Triticale	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	105	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Féverole de printemps	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Féverole de printemps	Travail du sol superficiel	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Féverole de printemps	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Triticale	Féverole de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Triticale	Féverole de printemps	Semis combiné	19	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Triticale	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Féverole de printemps	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Féverole de printemps	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Féverole de printemps	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Féverole de printemps	Insecticide	10	0,2	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,015	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Féverole de printemps	Molluscicide	21	1	Agrilimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Féverole de printemps	Désherbage mécanique	7	0,5				Herse étrille
Triticale	Féverole de printemps	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Triticale	Tournesol	Broyage	14	1				Broyeur à fléaux
Triticale	Tournesol	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Tournesol	Semis combiné	19	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Triticale	Tournesol	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Tournesol	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Tournesol	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Tournesol	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Tournesol	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Tournesol	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Tournesol	Insecticide	10	0,2	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,015	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Tournesol	Molluscicide	21	1	Agrilimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Tournesol	Désherbage mécanique	7	0,5				Herse étrille
Triticale	Tournesol	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Triticale	Soja non irrigué	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Soja non irrigué	Semis combiné	19	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Triticale	Soja non irrigué	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Soja non irrigué	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Soja non irrigué	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Soja non irrigué	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Soja non irrigué	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Soja non irrigué	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Soja non irrigué	Insecticide	10	0,2	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,015	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Soja non irrigué	Molluscicide	21	1	Agrilimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Soja non irrigué	Désherbage mécanique	7	0,5				Herse étrille
Triticale	Soja non irrigué	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Triticale	Moutarde de printemps	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	105	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Moutarde de printemps	Broyage	14	1				Broyeur à fléaux
Triticale	Moutarde de printemps	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Moutarde de printemps	Travail du sol superficiel	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Moutarde de printemps	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Triticale	Moutarde de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Triticale	Moutarde de printemps	Semis combiné	19	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Triticale	Moutarde de printemps	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Moutarde de printemps	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Moutarde de printemps	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Moutarde de printemps	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	125	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Moutarde de printemps	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Moutarde de printemps	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Moutarde de printemps	Insecticide	10	0,2	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,015	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Moutarde de printemps	Molluscicide	21	1	Agrilimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Moutarde de printemps	Désherbage mécanique	7	0,5				Herse étrille
Triticale	Moutarde de printemps	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plaine

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvériseur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvériseur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Labour	17	1				Charrue brabant
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	7	1				Semoir monograine pneumatique
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Roulage	7	1				Rouleaux type Cambridge
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Désherbage mécanique	10	1				Herse étrille
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	11	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Binage	11	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Moisson	17	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Tournesol	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvériseur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvériseur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Orge de printemps	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Tournesol	Orge de printemps	Labour	17	1				Charrue brabant
Tournesol	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Tournesol	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Orge de printemps	Semis monograine	7	1				Semoir monograine pneumatique
Tournesol	Orge de printemps	Roulage	7	1				Rouleaux type Cambridge
Tournesol	Orge de printemps	Désherbage mécanique	10	1				Herse étrille
Tournesol	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	11	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Orge de printemps	Binage	11	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Tournesol	Orge de printemps	Moisson	17	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Tournesol	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvériseur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvériseur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Orge d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Orge d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Orge d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Tournesol	Orge d'hiver	Labour	17	1				Charrue brabant
Tournesol	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Tournesol	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Orge d'hiver	Semis monograine	7	1				Semoir monograine pneumatique
Tournesol	Orge d'hiver	Roulage	7	1				Rouleaux type Cambridge
Tournesol	Orge d'hiver	Désherbage mécanique	10	1				Herse étrille
Tournesol	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	11	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Orge d'hiver	Binage	11	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Tournesol	Orge d'hiver	Moisson	17	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Tournesol	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvériseur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvériseur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Triticale	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Tournesol	Triticale	Labour	17	1				Charrue brabant
Tournesol	Triticale	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Tournesol	Triticale	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Triticale	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Triticale	Semis monograine	7	1				Semoir monograine pneumatique
Tournesol	Triticale	Roulage	7	1				Rouleaux type Cambridge
Tournesol	Triticale	Désherbage mécanique	10	1				Herse étrille
Tournesol	Triticale	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Triticale	Fertilisation minérale solide	11	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Triticale	Binage	11	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Tournesol	Triticale	Moisson	17	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plaine

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Labour	17	1				Charrue brabant
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	388,06	kg/ha	Épandeur engrais porté
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Herbicide	9	0,1	Lontrel SF 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Désherbage mécanique	10	1				Herse étrille
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Désherbage mécanique	10	1				Herse étrille
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Herbicide	9	1	CADELI	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Irrigation	13	1	eau	50	mm	Intervention non mécanisée
Sorgho irrigué	Blé tendre d'hiver	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Labour	17	1				Charrue brabant
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	388,06	kg/ha	Épandeur engrais porté
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Herbicide	9	0,1	Lontrel SF 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Désherbage mécanique	10	1				Herse étrille
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Désherbage mécanique	10	1				Herse étrille
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Herbicide	9	1	CADELI	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Irrigation	13	1	eau	50	mm	Intervention non mécanisée
Sorgho irrigué	Orge de printemps	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Sorgho irrigué	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Sorgho irrigué	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Sorgho irrigué	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Sorgho irrigué	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Sorgho irrigué	Triticale	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Sorgho irrigué	Triticale	Labour	17	1				Charrue brabant
Sorgho irrigué	Triticale	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Sorgho irrigué	Triticale	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho irrigué	Triticale	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho irrigué	Triticale	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	388,06	kg/ha	Épandeur engrais porté
Sorgho irrigué	Triticale	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Sorgho irrigué	Triticale	Herbicide	9	0,1	Lontrel SF 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho irrigué	Triticale	Désherbage mécanique	10	1				Herse étrille
Sorgho irrigué	Triticale	Désherbage mécanique	10	1				Herse étrille
Sorgho irrigué	Triticale	Herbicide	9	1	CADELI	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho irrigué	Triticale	Irrigation	13	1	eau	50	mm	Intervention non mécanisée
Sorgho irrigué	Triticale	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Sorgho irrigué	Tournesol	Labour	17	1				Charrue brabant
Sorgho irrigué	Tournesol	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Sorgho irrigué	Tournesol	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho irrigué	Tournesol	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho irrigué	Tournesol	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	388,06	kg/ha	Épandeur engrais porté
Sorgho irrigué	Tournesol	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Sorgho irrigué	Tournesol	Herbicide	9	0,1	Lontrel SF 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho irrigué	Tournesol	Désherbage mécanique	10	1				Herse étrille
Sorgho irrigué	Tournesol	Désherbage mécanique	10	1				Herse étrille
Sorgho irrigué	Tournesol	Herbicide	9	1	CADELI	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho irrigué	Tournesol	Irrigation	13	1	eau	50	mm	Intervention non mécanisée
Sorgho irrigué	Tournesol	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plaine

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Soja irrigué	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Soja irrigué	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Soja irrigué	Blé tendre d'hiver	Semis	15	1				Semoir pneumatique à socs
Soja irrigué	Blé tendre d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Soja irrigué	Blé tendre d'hiver	Labour	17	1				Charrue brabant
Soja irrigué	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Soja irrigué	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja irrigué	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja irrigué	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	9	1				Semoir monograine pneumatique
Soja irrigué	Blé tendre d'hiver	Binage	11	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Soja irrigué	Blé tendre d'hiver	Irrigation	13	1	eau	50,00	mm	Intervention non mécanisée
Soja irrigué	Blé tendre d'hiver	Herbicide	11	1	PULSAR 40	0,31	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja irrigué	Blé tendre d'hiver	Herbicide	12	1	PULSAR 40	0,66	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja irrigué	Blé tendre d'hiver	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Soja irrigué	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Soja irrigué	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Soja irrigué	Orge d'hiver	Semis	15	1				Semoir pneumatique à socs
Soja irrigué	Orge d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Soja irrigué	Orge d'hiver	Labour	17	1				Charrue brabant
Soja irrigué	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Soja irrigué	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja irrigué	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja irrigué	Orge d'hiver	Semis monograine	9	1				Semoir monograine pneumatique
Soja irrigué	Orge d'hiver	Binage	11	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Soja irrigué	Orge d'hiver	Irrigation	13	1	eau	50,00	mm	Intervention non mécanisée
Soja irrigué	Orge d'hiver	Herbicide	11	1	PULSAR 40	0,31	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja irrigué	Orge d'hiver	Herbicide	12	1	PULSAR 40	0,66	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja irrigué	Orge d'hiver	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Soja irrigué	Maïs irrigué	Labour	21	1				Charrue brabant
Soja irrigué	Maïs irrigué	Travail du sol superficiel	21	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Soja irrigué	Maïs irrigué	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja irrigué	Maïs irrigué	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja irrigué	Maïs irrigué	Semis monograine	9	1				Semoir monograine pneumatique
Soja irrigué	Maïs irrigué	Binage	11	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Soja irrigué	Maïs irrigué	Irrigation	13	1	eau	50,00	mm	Intervention non mécanisée
Soja irrigué	Maïs irrigué	Herbicide	12	1	PULSAR 40	0,31	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja irrigué	Maïs irrigué	Herbicide	12	1	PULSAR 40	0,66	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja irrigué	Maïs irrigué	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Soja irrigué	Sorgho irrigué	Labour	21	1				Charrue brabant
Soja irrigué	Sorgho irrigué	Travail du sol superficiel	21	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Soja irrigué	Sorgho irrigué	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja irrigué	Sorgho irrigué	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja irrigué	Sorgho irrigué	Semis monograine	9	1				Semoir monograine pneumatique
Soja irrigué	Sorgho irrigué	Binage	11	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Soja irrigué	Sorgho irrigué	Irrigation	13	1	eau	50,00	mm	Intervention non mécanisée
Soja irrigué	Sorgho irrigué	Herbicide	12	1	PULSAR 40	0,31	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja irrigué	Sorgho irrigué	Herbicide	12	1	PULSAR 40	0,66	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja irrigué	Sorgho irrigué	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plaine

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	190	kg/ha	Epandeur engrais porté
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Labour	17	1				Charrue brabant
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Roulage	21	1				Rouleaux type Cambridge
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Semis combiné	20	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,05	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Herbicide	6	0,33	PROWL	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Désherbage mécanique	6	1				Herse étrille
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Désherbage mécanique	7	1				Houe rotative
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Insecticide	9	1	Karaté K	1,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Herbicide	13	0,1	typhon	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Pois d'hiver	Maïs non irrigué	Labour	17	1				Charrue brabant
Pois d'hiver	Maïs non irrigué	Travail du sol superficiel	17	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois d'hiver	Maïs non irrigué	Roulage	21	1				Rouleaux type Cambridge
Pois d'hiver	Maïs non irrigué	Semis combiné	20	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois d'hiver	Maïs non irrigué	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,05	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Maïs non irrigué	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Maïs non irrigué	Herbicide	6	0,33	PROWL	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Maïs non irrigué	Désherbage mécanique	6	1				Herse étrille
Pois d'hiver	Maïs non irrigué	Désherbage mécanique	7	1				Houe rotative
Pois d'hiver	Maïs non irrigué	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Maïs non irrigué	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Maïs non irrigué	Insecticide	9	1	Karaté K	1,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Maïs non irrigué	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Pois d'hiver	Tournesol	Labour	17	1				Charrue brabant
Pois d'hiver	Tournesol	Travail du sol superficiel	17	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois d'hiver	Tournesol	Roulage	21	1				Rouleaux type Cambridge
Pois d'hiver	Tournesol	Semis combiné	20	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois d'hiver	Tournesol	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,05	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Tournesol	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Tournesol	Herbicide	6	0,33	PROWL	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Tournesol	Désherbage mécanique	6	1				Herse étrille
Pois d'hiver	Tournesol	Désherbage mécanique	7	1				Houe rotative
Pois d'hiver	Tournesol	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Tournesol	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Tournesol	Insecticide	9	1	Karaté K	1,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Tournesol	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Pois d'hiver	Soja non irrigué	Labour	17	1				Charrue brabant
Pois d'hiver	Soja non irrigué	Travail du sol superficiel	17	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois d'hiver	Soja non irrigué	Roulage	21	1				Rouleaux type Cambridge
Pois d'hiver	Soja non irrigué	Semis combiné	20	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois d'hiver	Soja non irrigué	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,05	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Soja non irrigué	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Soja non irrigué	Herbicide	6	0,33	PROWL	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Soja non irrigué	Désherbage mécanique	6	1				Herse étrille
Pois d'hiver	Soja non irrigué	Désherbage mécanique	7	1				Houe rotative
Pois d'hiver	Soja non irrigué	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Soja non irrigué	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Soja non irrigué	Insecticide	9	1	Karaté K	1,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Soja non irrigué	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plaine

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	190	kg/ha	Epandeur engrais porté
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Labour	17	1				Charrue brabant
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	1	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Roulage	3	1				Rouleaux type Cambridge
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Semis combiné	5	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,05	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Herbicide	6	0,33	Prowl 400	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Désherbage mécanique	6	1				Herse étrille
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Désherbage mécanique	7	1				Houe rotative
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Insecticide	9	1	Karaté K	1,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Herbicide	13	0,1	typhon	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Pois de printemps	Orge de printemps	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	190	kg/ha	Epandeur engrais porté
Pois de printemps	Orge de printemps	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Orge de printemps	Labour	17	1				Charrue brabant
Pois de printemps	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	17	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois de printemps	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	1	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Orge de printemps	Roulage	3	1				Rouleaux type Cambridge
Pois de printemps	Orge de printemps	Semis combiné	5	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois de printemps	Orge de printemps	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,05	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge de printemps	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge de printemps	Herbicide	6	0,33	Prowl 400	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge de printemps	Désherbage mécanique	6	1				Herse étrille
Pois de printemps	Orge de printemps	Désherbage mécanique	7	1				Houe rotative
Pois de printemps	Orge de printemps	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge de printemps	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge de printemps	Insecticide	9	1	Karaté K	1,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge de printemps	Herbicide	13	0,1	typhon	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge de printemps	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Pois de printemps	Orge d'hiver	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	190	kg/ha	Epandeur engrais porté
Pois de printemps	Orge d'hiver	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Orge d'hiver	Labour	17	1				Charrue brabant
Pois de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	1	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Orge d'hiver	Roulage	3	1				Rouleaux type Cambridge
Pois de printemps	Orge d'hiver	Semis combiné	5	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois de printemps	Orge d'hiver	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,05	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge d'hiver	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge d'hiver	Herbicide	6	0,33	Prowl 400	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge d'hiver	Désherbage mécanique	6	1				Herse étrille
Pois de printemps	Orge d'hiver	Désherbage mécanique	7	1				Houe rotative
Pois de printemps	Orge d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge d'hiver	Insecticide	9	1	Karaté K	1,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge d'hiver	Herbicide	13	0,1	typhon	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge d'hiver	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Pois de printemps	Triticale	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Triticale	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	190	kg/ha	Epandeur engrais porté
Pois de printemps	Triticale	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Triticale	Labour	17	1				Charrue brabant
Pois de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	17	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	1	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Triticale	Roulage	3	1				Rouleaux type Cambridge
Pois de printemps	Triticale	Semis combiné	5	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois de printemps	Triticale	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,05	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Triticale	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Triticale	Herbicide	6	0,33	Prowl 400	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Triticale	Désherbage mécanique	6	1				Herse étrille
Pois de printemps	Triticale	Désherbage mécanique	7	1				Houe rotative
Pois de printemps	Triticale	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Triticale	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Triticale	Insecticide	9	1	Karaté K	1,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Triticale	Herbicide	13	0,1	typhon	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Triticale	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plaine

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Orge d'hiver	Colza	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	105	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Colza	Broyage	14	1				Broyeur à fléaux
Orge d'hiver	Colza	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Orge d'hiver	Colza	Travail du sol superficiel	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Orge d'hiver	Colza	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Colza	Semis combiné	18	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Orge d'hiver	Colza	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	200	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Colza	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	265	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Colza	Fongicide	10	0,5	Opus	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Fongicide	10	0,5	Amistar	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Fongicide	10	0,25	Opus	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Fongicide	10	0,25	Amistar	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Désherbage mécanique	7	1				Herse étrille
Orge d'hiver	Colza	Régulateur	10	1	Moddus	0,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	105	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Broyage	14	1				Broyeur à fléaux
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Travail du sol superficiel	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Semis combiné	18	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	170	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	220	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Fongicide	10	0,5	Opus	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Fongicide	10	0,5	Amistar	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Fongicide	10	0,25	Opus	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Fongicide	10	0,25	Amistar	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Désherbage mécanique	7	1				Herse étrille
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Régulateur	10	1	Moddus	0,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Lupin de printemps	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Orge d'hiver	Tournesol	Broyage	14	1				Broyeur à fléaux
Orge d'hiver	Tournesol	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Orge d'hiver	Tournesol	Semis combiné	18	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Orge d'hiver	Tournesol	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	200	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Tournesol	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	265	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Tournesol	Fongicide	10	0,5	Opus	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Fongicide	10	0,5	Amistar	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Fongicide	10	0,25	Opus	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Fongicide	10	0,25	Amistar	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Désherbage mécanique	7	1				Herse étrille
Orge d'hiver	Tournesol	Régulateur	10	1	Moddus	0,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Orge d'hiver	Moutarde d'hiver	Broyage	14	1				Broyeur à fléaux
Orge d'hiver	Moutarde d'hiver	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Orge d'hiver	Moutarde d'hiver	Semis combiné	18	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Orge d'hiver	Moutarde d'hiver	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Moutarde d'hiver	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	200	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Moutarde d'hiver	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	265	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Moutarde d'hiver	Fongicide	10	0,5	Opus	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Moutarde d'hiver	Fongicide	10	0,5	Amistar	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Moutarde d'hiver	Fongicide	10	0,25	Opus	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Moutarde d'hiver	Fongicide	10	0,25	Amistar	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Moutarde d'hiver	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Moutarde d'hiver	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,0125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Moutarde d'hiver	Désherbage mécanique	7	1				Herse étrille
Orge d'hiver	Moutarde d'hiver	Régulateur	10	1	Moddus	0,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Moutarde d'hiver	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plaine

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Labour	16	1				Charrue brabant
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	16	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	18	1				Semoir monograine pneumatique
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Herbicide	17	0,33	Novall	0,495	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	19	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Molluscicide	21	1	Agrilimace	3	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	30	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	150	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	7	1	kieserite	110	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	9	1	kieserite	110	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Binage	6	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Insecticide	9	1	PYRINEX ME	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Insecticide	10	1	Proteus	0,52	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fongicide	10	1	Amistar	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fongicide	12	1	Amistar	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Labour	16	1				Charrue brabant
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	16	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Semis monograine	18	1				Semoir monograine pneumatique
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Herbicide	17	0,33	Novall	0,495	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	19	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Molluscicide	21	1	Agrilimace	3	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	30	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	150	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	7	1	kieserite	110	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	9	1	kieserite	110	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Binage	6	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Insecticide	9	1	PYRINEX ME	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Insecticide	10	1	Proteus	0,52	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Fongicide	10	1	Amistar	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Fongicide	12	1	Amistar	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Labour	16	1				Charrue brabant
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	16	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Semis monograine	18	1				Semoir monograine pneumatique
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Herbicide	17	0,33	Novall	0,495	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	19	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Molluscicide	21	1	Agrilimace	3	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	30	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	150	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	7	1	kieserite	110	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	9	1	kieserite	110	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Binage	6	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Insecticide	9	1	PYRINEX ME	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Insecticide	10	1	Proteus	0,52	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Fongicide	10	1	Amistar	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Fongicide	12	1	Amistar	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Moutarde d'hiver	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Moutarde d'hiver	Triticale	Labour	16	1				Charrue brabant
Moutarde d'hiver	Triticale	Travail du sol superficiel	16	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Triticale	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Moutarde d'hiver	Triticale	Semis monograine	18	1				Semoir monograine pneumatique
Moutarde d'hiver	Triticale	Herbicide	17	0,33	Novall	0,495	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Triticale	Travail du sol superficiel	19	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Triticale	Molluscicide	21	1	Agrilimace	3	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Triticale	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	30	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Triticale	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	150	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Triticale	Fertilisation minérale solide	7	1	kieserite	110	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Triticale	Fertilisation minérale solide	9	1	kieserite	110	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Triticale	Binage	6	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Moutarde d'hiver	Triticale	Insecticide	9	1	PYRINEX ME	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Triticale	Insecticide	10	1	Proteus	0,52	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Triticale	Fongicide	10	1	Amistar	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Triticale	Fongicide	12	1	Amistar	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Triticale	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plaine

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Labour	17	1				Charrue brabant
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	186,27	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	8	1				Semoir monograine pneumatique
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Herbicide	9	0,1	Lontrel 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Binage	10	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	329	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Binage	11	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Lutte bio	12	1				Intervention non mécanisée
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Irrigation	13	1	Eau	50	mm	Intervention non mécanisée
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Herbicide	10	0,0825	Callisto	0,0165	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Herbicide	10	0,0825	Cadéli	0,0165	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Herbicide	10	0,0825	Ritmic	0,0165	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Blé tendre d'hiver	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Mais irrigué	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais irrigué	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais irrigué	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais irrigué	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais irrigué	Orge de printemps	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Mais irrigué	Orge de printemps	Labour	17	1				Charrue brabant
Mais irrigué	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Mais irrigué	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Mais irrigué	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Mais irrigué	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	186,27	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais irrigué	Orge de printemps	Semis monograine	8	1				Semoir monograine pneumatique
Mais irrigué	Orge de printemps	Herbicide	9	0,1	Lontrel 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Orge de printemps	Binage	10	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Mais irrigué	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	329	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais irrigué	Orge de printemps	Binage	11	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Mais irrigué	Orge de printemps	Lutte bio	12	1				Intervention non mécanisée
Mais irrigué	Orge de printemps	Irrigation	13	1	Eau	50	mm	Intervention non mécanisée
Mais irrigué	Orge de printemps	Herbicide	10	0,0825	Callisto	0,0165	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Orge de printemps	Herbicide	10	0,0825	Cadéli	0,0165	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Orge de printemps	Herbicide	10	0,0825	Ritmic	0,0165	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Orge de printemps	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Mais irrigué	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais irrigué	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais irrigué	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais irrigué	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais irrigué	Triticale	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Mais irrigué	Triticale	Labour	17	1				Charrue brabant
Mais irrigué	Triticale	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Mais irrigué	Triticale	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Mais irrigué	Triticale	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Mais irrigué	Triticale	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	186,27	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais irrigué	Triticale	Semis monograine	8	1				Semoir monograine pneumatique
Mais irrigué	Triticale	Herbicide	9	0,1	Lontrel 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Triticale	Binage	10	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Mais irrigué	Triticale	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	329	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais irrigué	Triticale	Binage	11	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Mais irrigué	Triticale	Lutte bio	12	1				Intervention non mécanisée
Mais irrigué	Triticale	Irrigation	13	1	Eau	50	mm	Intervention non mécanisée
Mais irrigué	Triticale	Herbicide	10	0,0825	Callisto	0,0165	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Triticale	Herbicide	10	0,0825	Cadéli	0,0165	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Triticale	Herbicide	10	0,0825	Ritmic	0,0165	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Triticale	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Mais irrigué	Soja irrigué	Déchaumage	21	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais irrigué	Soja irrigué	Semis	21	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais irrigué	Soja irrigué	Semis	21	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais irrigué	Soja irrigué	Broyage	8	1				Broyeur à fléaux
Mais irrigué	Soja irrigué	Labour	8	1				Charrue brabant
Mais irrigué	Soja irrigué	Travail du sol superficiel	8	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Mais irrigué	Soja irrigué	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	186,27	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais irrigué	Soja irrigué	Semis monograine	8	1				Semoir monograine pneumatique
Mais irrigué	Soja irrigué	Herbicide	9	0,1	Lontrel 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Soja irrigué	Binage	10	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Mais irrigué	Soja irrigué	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	329	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais irrigué	Soja irrigué	Binage	11	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Mais irrigué	Soja irrigué	Lutte bio	12	1				Intervention non mécanisée
Mais irrigué	Soja irrigué	Irrigation	13	1	Eau	50	mm	Intervention non mécanisée
Mais irrigué	Soja irrigué	Herbicide	10	0,0825	Callisto	0,0165	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Soja irrigué	Herbicide	10	0,0825	Cadéli	0,0165	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Soja irrigué	Herbicide	10	0,0825	Ritmic	0,0165	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais irrigué	Soja irrigué	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plaine

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	190	kg/ha	Epandeur engrais porté
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Labour	17	1				Charrue brabant
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	1	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Roulage	3	1				Rouleaux type Cambridge
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	6	0,5				Semoir monograine pneumatique
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Herbicide	21	0,25	Challenge 600	0,430	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Désherbage mécanique	6	1				Herse étrille
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Désherbage mécanique	7	1				Houe rotative
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Binage	8	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Binage	9	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Fongicide	9	0,5	FUNGISTOP FL	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Herbicide	13	0,1	typhon	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	190	kg/ha	Epandeur engrais porté
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Labour	17	1				Charrue brabant
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	1	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Roulage	3	1				Rouleaux type Cambridge
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Semis monograine	6	0,5				Semoir monograine pneumatique
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Herbicide	21	0,25	Challenge 600	0,43	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Désherbage mécanique	6	1				Herse étrille
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Désherbage mécanique	7	1				Houe rotative
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Binage	8	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Binage	9	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Fongicide	9	0,5	FUNGISTOP FL	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Herbicide	13	0,1	typhon	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Lupin de printemps	Triticale	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Lupin de printemps	Triticale	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	190,00	kg/ha	Epandeur engrais porté
Lupin de printemps	Triticale	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Lupin de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Lupin de printemps	Triticale	Labour	17	1				Charrue brabant
Lupin de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	17	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Lupin de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	1	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Lupin de printemps	Triticale	Roulage	3	1				Rouleaux type Cambridge
Lupin de printemps	Triticale	Semis monograine	6	0,5				Semoir monograine pneumatique
Lupin de printemps	Triticale	Herbicide	21	0,25	Challenge 600	0,43	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Triticale	Désherbage mécanique	6	1				Herse étrille
Lupin de printemps	Triticale	Désherbage mécanique	7	1				Houe rotative
Lupin de printemps	Triticale	Binage	8	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Lupin de printemps	Triticale	Binage	9	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Lupin de printemps	Triticale	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Triticale	Fongicide	9	0,5	FUNGISTOP FL	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Triticale	Herbicide	13	0,1	typhon	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Triticale	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plaine

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	100,57	kg/ha	Epandeur engrais porté
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	4	1				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Labour	17	1				Charrue brabant
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Roulage	5	1				Rouleaux type Cambridge
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	4	0,5				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Herbicide	21	0,25	Challenge 600	0,43	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Désherbage mécanique	7	1				Houe rotative
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Binage	8	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Binage	9	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Fongicide	10	1	Cinch pro	0,8	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Insecticide	10	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,075	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Moisson	15	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Féverole de printemps	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	100,57	kg/ha	Epandeur engrais porté
Féverole de printemps	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Orge de printemps	Semis monograine	4	1				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Orge de printemps	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Féverole de printemps	Orge de printemps	Labour	17	1				Charrue brabant
Féverole de printemps	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Féverole de printemps	Orge de printemps	Roulage	5	1				Rouleaux type Cambridge
Féverole de printemps	Orge de printemps	Semis monograine	4	0,5				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Orge de printemps	Herbicide	21	0,25	Challenge 600	0,43	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Orge de printemps	Désherbage mécanique	7	1				Houe rotative
Féverole de printemps	Orge de printemps	Binage	8	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Féverole de printemps	Orge de printemps	Binage	9	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Féverole de printemps	Orge de printemps	Fongicide	10	1	Cinch pro	0,8	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Orge de printemps	Insecticide	10	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,075	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Orge de printemps	Moisson	15	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	100,57	kg/ha	Epandeur engrais porté
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Semis monograine	4	1				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Labour	17	1				Charrue brabant
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Roulage	5	1				Rouleaux type Cambridge
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Semis monograine	4	0,5				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Herbicide	21	0,25	Challenge 600	0,43	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Désherbage mécanique	7	1				Houe rotative
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Binage	8	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Binage	9	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Fongicide	10	1	Cinch pro	0,8	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Insecticide	10	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,075	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Moisson	15	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Féverole de printemps	Triticale	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	100,57	kg/ha	Epandeur engrais porté
Féverole de printemps	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Triticale	Semis monograine	4	1				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Triticale	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Féverole de printemps	Triticale	Labour	17	1				Charrue brabant
Féverole de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Féverole de printemps	Triticale	Roulage	5	1				Rouleaux type Cambridge
Féverole de printemps	Triticale	Semis monograine	4	0,5				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Triticale	Herbicide	21	0,25	Challenge 600	0,43	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Triticale	Désherbage mécanique	7	1				Houe rotative
Féverole de printemps	Triticale	Binage	8	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Féverole de printemps	Triticale	Binage	9	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Féverole de printemps	Triticale	Fongicide	10	1	Cinch pro	0,8	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Triticale	Insecticide	10	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,075	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Triticale	Moisson	15	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plaine

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Labour	17	1				Charrue brabant
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	358,21	kg/ha	Epandeur engrais porté
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Fauche	16	1				Faucheuse conditionneuse trainée
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Andainage	17	1				Andaineur
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Pressage	17	1				Presse à bottes rondes
Chanvre	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Orge de printemps	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Chanvre	Orge de printemps	Labour	17	1				Charrue brabant
Chanvre	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Chanvre	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Chanvre	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	358,21	kg/ha	Epandeur engrais porté
Chanvre	Orge de printemps	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Chanvre	Orge de printemps	Fauche	16	1				Faucheuse conditionneuse trainée
Chanvre	Orge de printemps	Andainage	17	1				Andaineur
Chanvre	Orge de printemps	Pressage	17	1				Presse à bottes rondes
Chanvre	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Orge d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Orge d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Orge d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Chanvre	Orge d'hiver	Labour	17	1				Charrue brabant
Chanvre	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Chanvre	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Chanvre	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	358,21	kg/ha	Epandeur engrais porté
Chanvre	Orge d'hiver	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Chanvre	Orge d'hiver	Fauche	16	1				Faucheuse conditionneuse trainée
Chanvre	Orge d'hiver	Andainage	17	1				Andaineur
Chanvre	Orge d'hiver	Pressage	17	1				Presse à bottes rondes
Chanvre	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Triticale	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Chanvre	Triticale	Labour	17	1				Charrue brabant
Chanvre	Triticale	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Chanvre	Triticale	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Chanvre	Triticale	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	358,21	kg/ha	Epandeur engrais porté
Chanvre	Triticale	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Chanvre	Triticale	Fauche	16	1				Faucheuse conditionneuse trainée
Chanvre	Triticale	Andainage	17	1				Andaineur
Chanvre	Triticale	Pressage	17	1				Presse à bottes rondes
Chanvre	Maïs	Labour	17	1				Charrue brabant
Chanvre	Maïs	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Chanvre	Maïs	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Chanvre	Maïs	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	358,21	kg/ha	Epandeur engrais porté
Chanvre	Maïs	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Chanvre	Maïs	Fauche	16	1				Faucheuse conditionneuse trainée
Chanvre	Maïs	Andainage	17	1				Andaineur
Chanvre	Maïs	Pressage	17	1				Presse à bottes rondes

# Systèmes de culture PIC - Plaine

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Colza	Blé tendre d'hiver	Labour	14	1				Charrue brabant
Colza	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	15	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Colza	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	15	0,5	0-21-21-10	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	16	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Blé tendre d'hiver	Désherbage mécanique	17	1				Herse étrille
Colza	Blé tendre d'hiver	Molluscicide	17	0,2	Agrilimace	1	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Blé tendre d'hiver	Désherbage mécanique	18	1				Houe rotative
Colza	Blé tendre d'hiver	Binage	17	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Colza	Blé tendre d'hiver	Insecticide	21	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,05	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	150	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Blé tendre d'hiver	Insecticide	6	1	Cajun	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	6	1	Sulfonitrate-26	200	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	6	1	N33,5	75	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Blé tendre d'hiver	Binage	6	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Colza	Blé tendre d'hiver	Insecticide	7	1	Mavrik	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Adjuvant	7	1				Intervention non mécanisée
Colza	Blé tendre d'hiver	Fongicide	8	0,5	Pictor pro	0,1	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Fongicide	8	0,5	Cinch pro	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Colza	Triticale	Labour	14	1				Charrue brabant
Colza	Triticale	Travail du sol superficiel	15	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Colza	Triticale	Fertilisation minérale solide	15	0,5	0-21-21-10	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Triticale	Travail du sol superficiel	16	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Triticale	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Triticale	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Triticale	Désherbage mécanique	17	1				Herse étrille
Colza	Triticale	Molluscicide	17	0,2	Agrilimace	1	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Triticale	Désherbage mécanique	18	1				Houe rotative
Colza	Triticale	Binage	17	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Colza	Triticale	Insecticide	21	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,05	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Triticale	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	150	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Triticale	Insecticide	6	1	Cajun	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Triticale	Fertilisation minérale solide	6	1	Sulfonitrate-26	200	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Triticale	Fertilisation minérale solide	6	1	N33,5	75	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Triticale	Binage	6	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Colza	Triticale	Insecticide	7	1	Mavrik	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Triticale	Adjuvant	7	1				Intervention non mécanisée
Colza	Triticale	Fongicide	8	0,5	Pictor pro	0,1	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Triticale	Fongicide	8	0,5	Cinch pro	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Triticale	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Colza	Pois de printemps	Labour	14	1				Charrue brabant
Colza	Pois de printemps	Travail du sol superficiel	15	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Colza	Pois de printemps	Fertilisation minérale solide	15	0,5	0-21-21-10	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Pois de printemps	Travail du sol superficiel	16	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Pois de printemps	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Pois de printemps	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Pois de printemps	Désherbage mécanique	17	1				Herse étrille
Colza	Pois de printemps	Molluscicide	17	0,2	Agrilimace	1	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Pois de printemps	Désherbage mécanique	18	1				Houe rotative
Colza	Pois de printemps	Binage	17	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Colza	Pois de printemps	Insecticide	21	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,05	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Pois de printemps	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Pois de printemps	Insecticide	6	1	Cajun	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Pois de printemps	Fertilisation minérale solide	6	1	Sulfonitrate-26	200	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Pois de printemps	Fertilisation minérale solide	6	1	N33,5	50	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Pois de printemps	Binage	6	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Colza	Pois de printemps	Insecticide	7	1	Mavrik	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Pois de printemps	Adjuvant	7	1				Intervention non mécanisée
Colza	Pois de printemps	Fongicide	8	0,5	Pictor pro	0,1	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Pois de printemps	Fongicide	8	0,5	Cinch pro	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Pois de printemps	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Colza	Féverole d'hiver	Labour	14	1				Charrue brabant
Colza	Féverole d'hiver	Travail du sol superficiel	15	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Colza	Féverole d'hiver	Fertilisation minérale solide	15	0,5	0-21-21-10	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Féverole d'hiver	Travail du sol superficiel	16	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Féverole d'hiver	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Féverole d'hiver	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Féverole d'hiver	Désherbage mécanique	17	1				Herse étrille
Colza	Féverole d'hiver	Molluscicide	17	0,2	Agrilimace	1	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Féverole d'hiver	Désherbage mécanique	18	1				Houe rotative
Colza	Féverole d'hiver	Binage	17	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Colza	Féverole d'hiver	Insecticide	21	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,05	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Féverole d'hiver	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Féverole d'hiver	Insecticide	6	1	Cajun	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Féverole d'hiver	Fertilisation minérale solide	6	1	Sulfonitrate-26	200	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Féverole d'hiver	Fertilisation minérale solide	6	1	N33,5	50	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Féverole d'hiver	Binage	6	1				Bineuse , inter-rang étroit (45cm)
Colza	Féverole d'hiver	Insecticide	7	1	Mavrik	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Féverole d'hiver	Adjuvant	7	1				Intervention non mécanisée
Colza	Féverole d'hiver	Fongicide	8	0,5	Pictor pro	0,1	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Féverole d'hiver	Fongicide	8	0,5	Cinch pro	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Féverole d'hiver	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

**Annexe 10. Matrice technico-économique construite pour les cultures de diversification et les systèmes actuels : Cas des plateaux**

# Systèmes de culture actuels - Plateaux

Culture	Précédent	Niveau d'intensification	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	Travail du sol superficiel	13	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	semis combiné	18	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	Herbicide	16	0,5	TREFLAN EC	2,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	Herbicide	16	0,5	ZEBRA	1,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	Insecticide	19	1	CLAMEUR	0,035	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	Insecticide	30	1	CLAMEUR	0,05	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	Herbicide	31	0,5	TARGA D+	0,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	Insecticide	31	0,5	TALITA	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	Fongicide	32	1	PUNCH	0,8	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	Insecticide	33	1	CLAMEUR	0,07	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	Fertilisation minérale solide	27	1	Ammonitrate N33.5	210	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	Fertilisation minérale solide	29	1	Ammonitrate N33.5	96	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	Fertilisation minérale solide	31	1	Ammonitrate N33.5	240	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	Fertilisation organique	15	1	Ammonitrate N33.5	24	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrants forts	Moisson	37	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Colza	Orge d'hiver	Intrants faibles	Travail du sol superficiel	14	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Orge d'hiver	Intrants faibles	Travail du sol superficiel	15	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Orge d'hiver	Intrants faibles	Travail du sol superficiel	15	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Orge d'hiver	Intrants faibles	semis combiné	16	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Colza	Orge d'hiver	Intrants faibles	Herbicide	16	1	NOVALL	2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants faibles	Herbicide	18	1	CLIOPHAR	0,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants faibles	Insecticide	19	1	MAGEOS MD	0,05	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants faibles	Insecticide	31	1	Mavrik	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants faibles	Fongicide	33	0,5	PICTOR PRO	0,125	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants faibles	Fongicide	33	0,5	caramba star	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants faibles	Fertilisation minérale solide	16	1	0.21.21	72	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrants faibles	Fertilisation minérale solide	30	1	Ammonitrate N33.5	252	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrants faibles	Fertilisation minérale solide	31	1	Ammonitrate N33.5	252	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrants faibles	Moisson	38	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Colza	Orge d'hiver	Intrants intermédiaires	Travail du sol superficiel	15	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Orge d'hiver	Intrants intermédiaires	Travail du sol superficiel	16	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Orge d'hiver	Intrants intermédiaires	semis combiné	16	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Colza	Orge d'hiver	Intrants intermédiaires	Fertilisation minérale solide	28	1	Ammonitrate N33.5	150	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrants intermédiaires	Fertilisation minérale solide	30	1	Ammonitrate N33.5	222	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Orge d'hiver	Intrants intermédiaires	Herbicide	15	1	TRIFLUREX	2,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants intermédiaires	Herbicide	16	1	ZEBRA	2,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants intermédiaires	Régulateur	18	0,5	PARLAY C	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants intermédiaires	Insecticide	18	0,5	CLAMEUR	0,025	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants intermédiaires	Insecticide	20	1	CLAMEUR	0,04	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants intermédiaires	Insecticide	31	0,5	CLAMEUR	0,025	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants intermédiaires	Fongicide	31	0,5	SUNORG PRO	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants intermédiaires	Insecticide	32	1	TALITA	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants intermédiaires	Fongicide	33	1	SUNORG PRO	0,7	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Orge d'hiver	Intrants intermédiaires	Moisson	38	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture actuels - Plateaux

Culture	Précédent	Niveau d'intensification	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Travail du sol superficiel	14	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Travail du sol superficiel	16	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Travail du sol superficiel	19	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	semis	19	1				Semoir pneumatique à socs
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Herbicide	18	1	FREELAND	2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Molluscicide	19	0,5	ALLOWIN	1	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Molluscicide	19	0,5	MESUROL PRO	0,65	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Herbicide	30	0,33	Atlantis WG	0,099	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Herbicide	30	0,33	MONITOR	0,00396	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Herbicide	30	0,33	NICANOR	0,00495	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Régulateur	31	0,5	MONDIUM	0,575	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Régulateur	31	0,5	CYCOCEL C5	0,625	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Fongicide	33	1	BUMPER	1,1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Fongicide	35	0,5	BUMPER	0,175	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Fongicide	35	0,5	Citadelle	0,7	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Fertilisation minérale solide	15	1	0.21.21	72	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Fertilisation minérale solide	28	1	Ammonitrate N33.5	150	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Fertilisation minérale solide	29	1	Ammonitrate N33.5	60	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Fertilisation minérale solide	31	1	Ammonitrate N33.5	246	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Fertilisation minérale solide	34	1	Ammonitrate N33.5	135	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants forts	Moisson	38	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Travail du sol superficiel	15	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	roulage	18	1				Rouleaux type Cambridge
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	semis combiné	18	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	roulage	18	1				Rouleaux type Cambridge
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Herbicide	20	0,5	CELTIC	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Herbicide	20	0,5	DUCTIS	0,005	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Herbicide	31	1	VIP	0,4	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Herbicide	32	0,5	DIEZE	0,35	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Herbicide	32	0,5	KART	0,35	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Fongicide	32	0,5	COMET	0,07	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Fongicide	32	0,5	PLAYER	0,285	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Régulateur	32	1	MRDAX TOP	0,8	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Fongicide	35	1	MARATHON	1,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Fertilisation minérale solide	29	1	Ammonitrate N33.5	258	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Fertilisation minérale solide	31	1	Ammonitrate N33.5	261	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Fertilisation minérale solide	33	1	Ammonitrate N33.5	102	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Fertilisation organique	16	1	Ammonitrate N33.5	165	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants intermédiaires	Moisson	38	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants faibles	Travail du sol superficiel	14	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants faibles	Labour	16	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants faibles	semis combiné	19	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants faibles	Herbicide	31	1	ASSERT 300	1,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants faibles	Fongicide	33	0,33	OPUS	0,132	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants faibles	Fongicide	33	0,33	COMET	0,066	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants faibles	Fongicide	33	0,33	OPUS	0,198	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants faibles	Fertilisation minérale solide	27	1	0.21.21	72	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants faibles	Fertilisation minérale solide	27	1	Ammonitrate N33.5	147	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants faibles	Fertilisation minérale solide	30	1	Ammonitrate N33.5	234	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants faibles	Fertilisation minérale solide	33	1	Ammonitrate N33.5	153	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Intrants faibles	Moisson	38	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture actuels - Plateaux

Culture	Précédent	Niveau d'intensification	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants intermédiaires	labour	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants intermédiaires	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants intermédiaires	Travail du sol superficiel	19	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants intermédiaires	semis	19	1				Semoir pneumatique à socs
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants intermédiaires	Molluscicide	19	1	TRIORMONE DX	2,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants intermédiaires	Herbicide	21	0,5	ALLOWIN	1,25	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants intermédiaires	Herbicide	21	0,5	ZODIAC TX	0,35	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants intermédiaires	Insecticide	21	0,5	DUCTIS	0,0075	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants intermédiaires	Fongicide	31	1	MAGEOS MD	0,07	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants intermédiaires	Fongicide	32	0,5	KOARA	0,9	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants intermédiaires	Régulateur	32	0,5	DIAMANT	0,4	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants intermédiaires	Fertilisation minérale solide	21	1	0.21.21	72	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants intermédiaires	Fertilisation minérale solide	30	1	Ammonitrate N33.5	150	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants intermédiaires	Fertilisation minérale solide	30	1	Ammonitrate N33.5	225	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants intermédiaires	Moisson	37	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants faibles	Travail du sol superficiel	14	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants faibles	labour	16	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants faibles	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants faibles	semis combiné	19	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants faibles	herbicide	32	1	TRIORMONE DX	2,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants faibles	Fertilisation minérale solide	30	1	Ammonitrate N33.5	201	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants faibles	Fertilisation minérale solide	32	1	Ammonitrate N33.5	150	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants faibles	Moisson	36	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Travail du sol superficiel	14	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Travail du sol superficiel	15	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Travail du sol superficiel	19	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Semis	19	1				Semoir pneumatique à socs
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Herbicide	20	0,5	QUARTZ GT	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Herbicide	20	0,5	CELTIC	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Insecticide	20	1	MANDARIN	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Fongicide	32	0,5	ACANTO	0,35	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Fongicide	32	0,5	KOARA	0,9	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Fongicide	33	0,5	ACANTO	0,1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Fongicide	33	0,5	Bravo Premium	0,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Fertilisation minérale solide	20	1	0.21.21	72	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Fertilisation minérale solide	27	1	Ammonitrate N33.5	165	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Fertilisation minérale solide	31	1	Ammonitrate N33.5	225	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Blé tendre d'hiver	Intrants forts	Moisson	37	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Blé tendre d'hiver	Colza	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	74	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Broyage	14	1				Broyeur à fléaux
Blé tendre d'hiver	Colza	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Blé tendre d'hiver	Colza	Travail du sol superficiel	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Blé tendre d'hiver	Colza	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Colza	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Colza	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Colza	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Colza	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Colza	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Colza	Fongicide	10	1	Ogam	0,60	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Insecticide	10	0,1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,008	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Colza	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	74	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Travail du sol superficiel	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	80	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	80	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	80	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Fongicide	10	1	Ogam	0,60	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Insecticide	10	0,1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,008	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Féverole de printemps	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Broyage	14	1				Broyeur à fléaux
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Fongicide	10	1	Ogam	0,60	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Insecticide	10	0,1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,008	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Tournesol	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Blé tendre d'hiver	Soja	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Blé tendre d'hiver	Soja	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Soja	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Soja	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Soja	Semis combiné	20	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Blé tendre d'hiver	Soja	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	80	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Soja	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Soja	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	80	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Soja	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	80	kg/ha	Epandeur engrais porté
Blé tendre d'hiver	Soja	Fongicide	10	1	Ogam	0,60	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Soja	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Soja	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Blé tendre d'hiver	Soja	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Blé tendre d'hiver	Soja	Insecticide	10	0,1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,008	l/ha	Pulvérisateur trainé

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Triticale	Colza	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	74	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Colza	Broyage	14	1				Broyeur à fléaux
Triticale	Colza	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Colza	Travail du sol superficiel	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Colza	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Triticale	Colza	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Triticale	Colza	Semis combiné	19	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Triticale	Colza	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Colza	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Colza	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Colza	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Colza	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Colza	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Triticale	Colza	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Colza	Insecticide	10	0,1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,008	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Colza	Molluscicide	21	1	Agrilimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Pois de printemps	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	74	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Pois de printemps	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Pois de printemps	Travail du sol superficiel	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Pois de printemps	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Triticale	Pois de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Triticale	Pois de printemps	Semis combiné	19	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Triticale	Pois de printemps	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	80	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Pois de printemps	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Pois de printemps	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	80	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Pois de printemps	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	80	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Pois de printemps	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Pois de printemps	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Triticale	Pois de printemps	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Pois de printemps	Insecticide	10	0,1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,008	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Pois de printemps	Molluscicide	21	1	Agrilimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Féverole d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	74	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Féverole d'hiver	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Féverole d'hiver	Travail du sol superficiel	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Féverole d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Triticale	Féverole d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Triticale	Féverole d'hiver	Semis combiné	19	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Triticale	Féverole d'hiver	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	80	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Féverole d'hiver	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Féverole d'hiver	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	80	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Féverole d'hiver	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	80	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Féverole d'hiver	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Féverole d'hiver	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Triticale	Féverole d'hiver	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Féverole d'hiver	Insecticide	10	0,1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,008	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Féverole d'hiver	Molluscicide	21	1	Agrilimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Tournesol	Broyage	14	1				Broyeur à fléaux
Triticale	Tournesol	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Tournesol	Semis combiné	19	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Triticale	Tournesol	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Tournesol	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Tournesol	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Tournesol	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	100	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Tournesol	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Tournesol	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Triticale	Tournesol	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Tournesol	Insecticide	10	0,1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,008	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Tournesol	Molluscicide	21	1	Agrilimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	70	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Triticale	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Triticale	Blé tendre d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Triticale	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Triticale	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	5	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Triticale	Blé tendre d'hiver	Semis combiné	5	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Triticale	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	5	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	144	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Blé tendre d'hiver	Roulage	6	1				Rouleaux type Cambridge
Triticale	Blé tendre d'hiver	Herbicide	8	0,5	Allié Express	0,02	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Blé tendre d'hiver	Fongicide	10	1	AVIATOR XPRO	0,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Blé tendre d'hiver	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Triticale	Soja	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Triticale	Soja	Semis combiné	19	0,25				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Triticale	Soja	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	80	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Soja	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Soja	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	80	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Soja	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	80	kg/ha	Epandeur engrais porté
Triticale	Soja	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Soja	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Triticale	Soja	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Soja	Insecticide	10	0,1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,008	l/ha	Pulvérisateur trainé
Triticale	Soja	Molluscicide	21	1	Agrilimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	7	1				Semoir monograine pneumatique
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Roulage	7	1				Rouleaux type Cambridge
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	96	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	11	1	N33,5	96	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Blé tendre d'hiver	Moisson	17	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Tournesol	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Orge de printemps	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Tournesol	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Tournesol	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Orge de printemps	Semis monograine	7	1				Semoir monograine pneumatique
Tournesol	Orge de printemps	Roulage	7	1				Rouleaux type Cambridge
Tournesol	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	96	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	11	1	N33,5	96	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Orge de printemps	Moisson	17	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Tournesol	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Orge d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Orge d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Orge d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Tournesol	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Tournesol	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Orge d'hiver	Semis monograine	7	1				Semoir monograine pneumatique
Tournesol	Orge d'hiver	Roulage	7	1				Rouleaux type Cambridge
Tournesol	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	96	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	11	1	N33,5	96	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Orge d'hiver	Moisson	17	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Tournesol	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Tournesol	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Tournesol	Triticale	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Tournesol	Triticale	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Tournesol	Triticale	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Triticale	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Tournesol	Triticale	Semis monograine	7	1				Semoir monograine pneumatique
Tournesol	Triticale	Roulage	7	1				Rouleaux type Cambridge
Tournesol	Triticale	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	96	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Triticale	Fertilisation minérale solide	11	1	N33,5	96	kg/ha	Epandeur engrais porté
Tournesol	Triticale	Moisson	17	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Sorgho	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Sorgho	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Sorgho	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Sorgho	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Sorgho	Blé tendre d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Sorgho	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Sorgho	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	310	kg/ha	Epandeur engrais porté
Sorgho	Blé tendre d'hiver	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Sorgho	Blé tendre d'hiver	Herbicide	9	0,1	Lontrel SF 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho	Blé tendre d'hiver	Herbicide	9	1	CADELI	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho	Blé tendre d'hiver	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Sorgho	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Sorgho	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Sorgho	Orge d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Sorgho	Orge d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Sorgho	Orge d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Sorgho	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Sorgho	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	310	kg/ha	Epandeur engrais porté
Sorgho	Orge d'hiver	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Sorgho	Orge d'hiver	Herbicide	9	0,1	Lontrel SF 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho	Orge d'hiver	Herbicide	9	1	CADELI	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho	Orge d'hiver	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Sorgho	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Sorgho	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Sorgho	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Sorgho	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Sorgho	Orge de printemps	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Sorgho	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Sorgho	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	310	kg/ha	Epandeur engrais porté
Sorgho	Orge de printemps	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Sorgho	Orge de printemps	Herbicide	9	0,1	Lontrel SF 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho	Orge de printemps	Herbicide	9	1	CADELI	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho	Orge de printemps	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Sorgho	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Sorgho	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Sorgho	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Sorgho	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Sorgho	Triticale	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Sorgho	Triticale	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Sorgho	Triticale	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho	Triticale	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho	Triticale	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	310	kg/ha	Epandeur engrais porté
Sorgho	Triticale	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Sorgho	Triticale	Herbicide	9	0,1	Lontrel SF 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho	Triticale	Herbicide	9	1	CADELI	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho	Triticale	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Sorgho	Tournesol	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Sorgho	Tournesol	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho	Tournesol	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Sorgho	Tournesol	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	310	kg/ha	Epandeur engrais porté
Sorgho	Tournesol	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Sorgho	Tournesol	Herbicide	9	0,1	Lontrel SF 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho	Tournesol	Herbicide	9	1	CADELI	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Sorgho	Tournesol	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Soja	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Soja	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Soja	Blé tendre d'hiver	Semis	15	1				Semoir pneumatique à socs
Soja	Blé tendre d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Soja	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Soja	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja	Blé tendre d'hiver	Semis monograinne	9	1				Semoir monograinne pneumatique
Soja	Blé tendre d'hiver	Herbicide	11	1	PULSAR 40	0,31	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja	Blé tendre d'hiver	Herbicide	12	1	PULSAR 40	0,66	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja	Blé tendre d'hiver	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Soja	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Soja	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Soja	Triticale	Semis	15	1				Semoir pneumatique à socs
Soja	Triticale	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Soja	Triticale	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Soja	Triticale	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja	Triticale	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja	Triticale	Semis monograinne	9	1				Semoir monograinne pneumatique
Soja	Triticale	Herbicide	11	1	PULSAR 40	0,31	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja	Triticale	Herbicide	12	1	PULSAR 40	0,66	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja	Triticale	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Soja	Mais	Travail du sol superficiel	21	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Soja	Mais	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja	Mais	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja	Mais	Semis monograinne	9	1				Semoir monograinne pneumatique
Soja	Mais	Herbicide	12	1	PULSAR 40	0,31	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja	Mais	Herbicide	12	1	PULSAR 40	0,66	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja	Mais	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Soja	Sorgho	Travail du sol superficiel	21	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Soja	Sorgho	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja	Sorgho	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Soja	Sorgho	Semis monograinne	9	1				Semoir monograinne pneumatique
Soja	Sorgho	Herbicide	12	1	PULSAR 40	0,31	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja	Sorgho	Herbicide	12	1	PULSAR 40	0,66	l/ha	Pulvérisateur trainé
Soja	Sorgho	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Herbicide	13	0,1	typhon	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	133	kg/ha	Epandeur engrais porté
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Roulage	18	1				Rouleaux type Cambridge
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Semis combiné	18	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,050	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Herbicide	6	0,33	PROWL	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Insecticide	9	1	Karaté K	1,250	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Blé tendre d'hiver	Moisson	12	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Pois d'hiver	Triticale	Herbicide	13	0,1	typhon	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Triticale	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois d'hiver	Triticale	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	133	kg/ha	Epandeur engrais porté
Pois d'hiver	Triticale	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois d'hiver	Triticale	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois d'hiver	Triticale	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois d'hiver	Triticale	Roulage	18	1				Rouleaux type Cambridge
Pois d'hiver	Triticale	Semis combiné	18	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois d'hiver	Triticale	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,050	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Triticale	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Triticale	Herbicide	6	0,33	PROWL	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Triticale	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Triticale	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Triticale	Insecticide	9	1	Karaté K	1,250	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Triticale	Moisson	12	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Pois d'hiver	Mais	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois d'hiver	Mais	Roulage	18	1				Rouleaux type Cambridge
Pois d'hiver	Mais	Semis combiné	18	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois d'hiver	Mais	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,050	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Mais	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Mais	Herbicide	6	0,33	PROWL	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Mais	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Mais	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Mais	Insecticide	9	1	Karaté K	1,250	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Mais	Moisson	12	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Pois d'hiver	Sorgho	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois d'hiver	Sorgho	Roulage	18	1				Rouleaux type Cambridge
Pois d'hiver	Sorgho	Semis combiné	18	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois d'hiver	Sorgho	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,050	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Sorgho	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Sorgho	Herbicide	6	0,33	PROWL	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Sorgho	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Sorgho	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Sorgho	Insecticide	9	1	Karaté K	1,250	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Sorgho	Moisson	12	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Pois d'hiver	Tournesol	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois d'hiver	Tournesol	Roulage	18	1				Rouleaux type Cambridge
Pois d'hiver	Tournesol	Semis combiné	18	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois d'hiver	Tournesol	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,050	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Tournesol	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Tournesol	Herbicide	6	0,33	PROWL	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Tournesol	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Tournesol	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Tournesol	Insecticide	9	1	Karaté K	1,250	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Tournesol	Moisson	12	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Pois d'hiver	Soja	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois d'hiver	Soja	Roulage	18	1				Rouleaux type Cambridge
Pois d'hiver	Soja	Semis combiné	18	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois d'hiver	Soja	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,050	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Soja	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Soja	Herbicide	6	0,33	PROWL	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Soja	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Soja	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Soja	Insecticide	9	1	Karaté K	1,250	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois d'hiver	Soja	Moisson	12	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Herbicide	13	0,1	typhon	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	133	kg/ha	Epandeur engrais porté
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	1	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Roulage	3	1				Rouleaux type Cambridge
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Semis combiné	5	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,050	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Herbicide	6	0,33	Prowl 400	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Blé tendre d'hiver	Insecticide	9	1	Karaté K	1,250	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge de printemps	Herbicide	13	0,1	typhon	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge de printemps	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	133	kg/ha	Epandeur engrais porté
Pois de printemps	Orge de printemps	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois de printemps	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	1	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Orge de printemps	Roulage	3	1				Rouleaux type Cambridge
Pois de printemps	Orge de printemps	Semis combiné	5	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois de printemps	Orge de printemps	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,050	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge de printemps	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge de printemps	Herbicide	6	0,33	Prowl 400	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge de printemps	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge de printemps	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge de printemps	Insecticide	9	1	Karaté K	1,250	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge d'hiver	Herbicide	13	0,1	typhon	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge d'hiver	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	133	kg/ha	Epandeur engrais porté
Pois de printemps	Orge d'hiver	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	1	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Orge d'hiver	Roulage	3	1				Rouleaux type Cambridge
Pois de printemps	Orge d'hiver	Semis combiné	5	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois de printemps	Orge d'hiver	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,050	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge d'hiver	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge d'hiver	Herbicide	6	0,33	Prowl 400	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Orge d'hiver	Insecticide	9	1	Karaté K	1,250	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Triticale	Herbicide	13	0,1	typhon	0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Triticale	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Triticale	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	133	kg/ha	Epandeur engrais porté
Pois de printemps	Triticale	Déchaumage	16	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Pois de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Pois de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	1	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Pois de printemps	Triticale	Roulage	3	1				Rouleaux type Cambridge
Pois de printemps	Triticale	Semis combiné	5	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Pois de printemps	Triticale	Herbicide	6	0,33	ADAGIO SG	0,050	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Triticale	Herbicide	6	0,33	Challenge 600	0,1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Triticale	Herbicide	6	0,33	Prowl 400	0,083	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Triticale	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Triticale	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Triticale	Insecticide	9	1	Karaté K	1,250	l/ha	Pulvérisateur trainé
Pois de printemps	Triticale	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Orge d'hiver	Colza	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10			Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Colza	Broyage	14	1		74	kg/ha	Broyeur à fléaux
Orge d'hiver	Colza	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Orge d'hiver	Colza	Travail du sol superficiel	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Orge d'hiver	Colza	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Colza	Semis combiné	19	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Orge d'hiver	Colza	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	160	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Colza	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	212	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Colza	Fongicide	10	0,5	Opus	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Fongicide	10	0,5	Amistar	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Fongicide	10	0,25	Opus	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Fongicide	10	0,25	Amistar	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Régulateur	10	1	Moddus	0,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Colza	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10			Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Broyage	14	1		74	kg/ha	Broyeur à fléaux
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Travail du sol superficiel	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Semis combiné	19	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	136	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	176	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Fongicide	10	0,5	Opus	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Fongicide	10	0,5	Amistar	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Fongicide	10	0,25	Opus	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Fongicide	10	0,25	Amistar	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Régulateur	10	1	Moddus	0,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Féverole de printemps	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10			Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Broyage	14	1		74	kg/ha	Broyeur à fléaux
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Travail du sol superficiel	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Semis combiné	19	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	136	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	176	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Fongicide	10	0,5	Opus	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Fongicide	10	0,5	Amistar	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Fongicide	10	0,25	Opus	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Fongicide	10	0,25	Amistar	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Régulateur	10	1	Moddus	0,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Pois d'hiver	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Orge d'hiver	Tournesol	Broyage	14	1				Broyeur à fléaux
Orge d'hiver	Tournesol	Déchaumage	14	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Orge d'hiver	Tournesol	Semis combiné	19	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Orge d'hiver	Tournesol	Herbicide	5	0,5	Cameo	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	160	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Tournesol	Fertilisation minérale solide	9	1	N33,5	212	kg/ha	Epandeur engrais porté
Orge d'hiver	Tournesol	Fongicide	10	0,5	Opus	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Fongicide	10	0,5	Amistar	0,25	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Fongicide	10	0,25	Opus	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Fongicide	10	0,25	Amistar	0,125	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Herbicide	11	0,1	Lonpar	0,2	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Herbicide	6	0,5	Gratil	0,013	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Régulateur	10	1	Moddus	0,5	l/ha	Pulvérisateur trainé
Orge d'hiver	Tournesol	Moisson	14	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	16	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	19	1				Semoir monograine pneumatique
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Herbicide	19	0,33	Novall	0,495	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	19	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Molluscicide	21	1	Agrillimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	7	1	kieserite	77	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	9	1	kieserite	77	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Insecticide	9	1	PYRINEX ME	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Insecticide	10	1	Proteus	0,52	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fongicide	10	1	Amistar	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fongicide	12	1	Amistar	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Blé tendre d'hiver	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	16	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Semis monograine	19	1				Semoir monograine pneumatique
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Herbicide	19	0,33	Novall	0,495	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	19	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Molluscicide	21	1	Agrillimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	7	1	kieserite	77	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	9	1	kieserite	77	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Insecticide	9	1	PYRINEX ME	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Insecticide	10	1	Proteus	0,52	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Fongicide	10	1	Amistar	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Fongicide	12	1	Amistar	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge d'hiver	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	16	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Semis monograine	19	1				Semoir monograine pneumatique
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Herbicide	19	0,33	Novall	0,495	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	19	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Molluscicide	21	1	Agrillimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	7	1	kieserite	77	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	9	1	kieserite	77	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Insecticide	9	1	PYRINEX ME	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Insecticide	10	1	Proteus	0,52	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Fongicide	10	1	Amistar	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Fongicide	12	1	Amistar	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Orge de printemps	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Moutarde d'hiver	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Moutarde d'hiver	Triticale	Travail du sol superficiel	16	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Triticale	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Moutarde d'hiver	Triticale	Semis monograine	19	1				Semoir monograine pneumatique
Moutarde d'hiver	Triticale	Herbicide	19	0,33	Novall	0,495	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Triticale	Travail du sol superficiel	19	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde d'hiver	Triticale	Molluscicide	21	1	Agrillimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Triticale	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Triticale	Fertilisation minérale solide	7	1	kieserite	77	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Triticale	Fertilisation minérale solide	9	1	kieserite	77	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde d'hiver	Triticale	Insecticide	9	1	PYRINEX ME	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Triticale	Insecticide	10	1	Proteus	0,52	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Triticale	Fongicide	10	1	Amistar	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Triticale	Fongicide	12	1	Amistar	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde d'hiver	Triticale	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	16	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	19	1				Semoir monograine pneumatique
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Herbicide	19	0,33	Novall	0,495	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	19	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Molluscicide	21	1	Agrilimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	7	1	kieserite	77	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	9	1	kieserite	77	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Insecticide	9	1	PYRINEX ME	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Insecticide	9	1	PYRINEX ME	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Fongicide	10	1	Proteus	0,52	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Fongicide	10	1	Amistar	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Fongicide	12	1	Amistar	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Blé tendre d'hiver	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Moutarde de printemps	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Moutarde de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	16	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Moutarde de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Moutarde de printemps	Orge d'hiver	Semis monograine	19	1				Semoir monograine pneumatique
Moutarde de printemps	Orge d'hiver	Herbicide	19	0,33	Novall	0,495	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	19	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde de printemps	Orge de printemps	Molluscicide	21	1	Agrilimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde de printemps	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde de printemps	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	7	1	kieserite	77	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde de printemps	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	9	1	kieserite	77	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde de printemps	Orge de printemps	Insecticide	9	1	PYRINEX ME	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Orge de printemps	Insecticide	10	1	Proteus	0,52	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Orge de printemps	Fongicide	10	1	Amistar	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Orge de printemps	Fongicide	12	1	Amistar	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Orge de printemps	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Moutarde de printemps	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Moutarde de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	16	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	17	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Moutarde de printemps	Triticale	Semis monograine	19	1				Semoir monograine pneumatique
Moutarde de printemps	Triticale	Herbicide	19	0,33	Novall	0,495	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	19	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Moutarde de printemps	Triticale	Molluscicide	21	1	Agrilimace	5	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde de printemps	Triticale	Fertilisation minérale solide	7	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde de printemps	Triticale	Fertilisation minérale solide	7	1	kieserite	77	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde de printemps	Triticale	Fertilisation minérale solide	9	1	kieserite	77	kg/ha	Epandeur engrais porté
Moutarde de printemps	Triticale	Insecticide	9	1	PYRINEX ME	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Triticale	Insecticide	10	1	Proteus	0,52	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Triticale	Fongicide	10	1	Amistar	0,75	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Triticale	Fongicide	12	1	Amistar	1	l/ha	Pulvérisateur trainé
Moutarde de printemps	Triticale	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Mais	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais	Blé tendre d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Mais	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Mais	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculqueur + rouleaux cage
Mais	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculqueur + rouleaux cage
Mais	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	149	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	8	1				Semoir monograine pneumatique
Mais	Blé tendre d'hiver	Herbicide	9	0,1	Lontrel 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	263	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais	Blé tendre d'hiver	Lutte bio	12	1				Intervention non mécanisée
Mais	Blé tendre d'hiver	Herbicide	10	0,0825	Callisto	0,017	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Blé tendre d'hiver	Herbicide	10	0,0825	CADELI	0,017	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Blé tendre d'hiver	Herbicide	10	0,0825	Ritmic	0,017	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Blé tendre d'hiver	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Mais	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais	Triticale	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Mais	Triticale	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Mais	Triticale	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculqueur + rouleaux cage
Mais	Triticale	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculqueur + rouleaux cage
Mais	Triticale	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	149	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais	Triticale	Semis monograine	8	1				Semoir monograine pneumatique
Mais	Triticale	Herbicide	9	0,1	Lontrel 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Triticale	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	263	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais	Triticale	Lutte bio	12	1				Intervention non mécanisée
Mais	Triticale	Herbicide	10	0,0825	Callisto	0,017	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Triticale	Herbicide	10	0,0825	CADELI	0,017	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Triticale	Herbicide	10	0,0825	Ritmic	0,017	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Triticale	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Mais	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais	Orge d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais	Orge d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais	Orge d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Mais	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Mais	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculqueur + rouleaux cage
Mais	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculqueur + rouleaux cage
Mais	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	149	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais	Orge d'hiver	Semis monograine	8	1				Semoir monograine pneumatique
Mais	Orge d'hiver	Herbicide	9	0,1	Lontrel 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	263	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais	Orge d'hiver	Lutte bio	12	1				Intervention non mécanisée
Mais	Orge d'hiver	Herbicide	10	0,0825	Callisto	0,017	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Orge d'hiver	Herbicide	10	0,0825	CADELI	0,017	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Orge d'hiver	Herbicide	10	0,0825	Ritmic	0,017	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Orge d'hiver	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Mais	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais	Orge de printemps	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Mais	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Mais	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculqueur + rouleaux cage
Mais	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	8	1				Vibroculqueur + rouleaux cage
Mais	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	149	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais	Orge de printemps	Semis monograine	8	1				Semoir monograine pneumatique
Mais	Orge de printemps	Herbicide	9	0,1	Lontrel 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	263	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais	Orge de printemps	Lutte bio	12	1				Intervention non mécanisée
Mais	Orge de printemps	Herbicide	10	0,0825	Callisto	0,017	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Orge de printemps	Herbicide	10	0,0825	CADELI	0,017	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Orge de printemps	Herbicide	10	0,0825	Ritmic	0,017	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Orge de printemps	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Mais	Soja	Déchaumage	21	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Mais	Soja	Semis	21	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais	Soja	Semis	21	0,5				Semoir pneumatique à socs
Mais	Soja	Broyage	8	1				Broyeur à fléaux
Mais	Soja	Travail du sol superficiel	8	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Mais	Soja	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	149	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais	Soja	Semis monograine	8	1				Semoir monograine pneumatique
Mais	Soja	Herbicide	9	0,1	Lontrel 100	0,15	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Soja	Fertilisation minérale solide	10	1	N33,5	263	kg/ha	Epandeur engrais porté
Mais	Soja	Lutte bio	12	1				Intervention non mécanisée
Mais	Soja	Herbicide	10	0,0825	Callisto	0,017	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Soja	Herbicide	10	0,0825	CADELI	0,017	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Soja	Herbicide	10	0,0825	Ritmic	0,017	l/ha	Pulvérisateur trainé
Mais	Soja	Moisson	19	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel	
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Herbicide	13	0,1	typhon		0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	14	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	133	kg/ha	Epandeur engrais porté	
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	16	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1					Vibroculteur + rouleaux cage
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1					Herse rotative (+ rouleau packer)
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	1	1					Vibroculteur + rouleaux cage
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Roulage	3	1					Rouleaux type Cambridge
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	20	0,5					Semoir monograine pneumatique
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Herbicide	21	0,25	Challenge 600	0,43	l/ha		Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha		Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Fongicide	9	0,5	FUNGISTOP FL	0,75	l/ha		Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Blé tendre d'hiver	Moisson	14	1					Moissonneuse-batteuse 230 chx
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Herbicide	13	0,1	typhon		0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Déchaumage	14	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	133	kg/ha		Epandeur engrais porté
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Déchaumage	16	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1					Vibroculteur + rouleaux cage
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1					Herse rotative (+ rouleau packer)
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	1	1					Vibroculteur + rouleaux cage
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Roulage	3	1					Rouleaux type Cambridge
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Semis monograine	20	0,5					Semoir monograine pneumatique
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Herbicide	21	0,25	Challenge 600	0,43	l/ha		Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha		Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Fongicide	9	0,5	FUNGISTOP FL	0,75	l/ha		Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Orge d'hiver	Moisson	14	1					Moissonneuse-batteuse 230 chx
Lupin de printemps	Orge de printemps	Herbicide	13	0,1	typhon		0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Orge de printemps	Déchaumage	14	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Lupin de printemps	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	133	kg/ha		Epandeur engrais porté
Lupin de printemps	Orge de printemps	Déchaumage	16	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Lupin de printemps	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	17	1					Vibroculteur + rouleaux cage
Lupin de printemps	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	18	1					Herse rotative (+ rouleau packer)
Lupin de printemps	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	1	1					Vibroculteur + rouleaux cage
Lupin de printemps	Orge de printemps	Roulage	3	1					Rouleaux type Cambridge
Lupin de printemps	Orge de printemps	Semis monograine	20	0,5					Semoir monograine pneumatique
Lupin de printemps	Orge de printemps	Herbicide	21	0,25	Challenge 600	0,43	l/ha		Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Orge de printemps	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha		Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Orge de printemps	Fongicide	9	0,5	FUNGISTOP FL	0,75	l/ha		Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Orge de printemps	Moisson	14	1					Moissonneuse-batteuse 230 chx
Lupin de printemps	Triticale	Herbicide	13	0,1	typhon		0,6	l/ha	Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Triticale	Déchaumage	14	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Lupin de printemps	Triticale	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10	133	kg/ha		Epandeur engrais porté
Lupin de printemps	Triticale	Déchaumage	16	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Lupin de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	17	1					Vibroculteur + rouleaux cage
Lupin de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	18	1					Herse rotative (+ rouleau packer)
Lupin de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	1	1					Vibroculteur + rouleaux cage
Lupin de printemps	Triticale	Roulage	3	1					Rouleaux type Cambridge
Lupin de printemps	Triticale	Semis monograine	20	0,5					Semoir monograine pneumatique
Lupin de printemps	Triticale	Herbicide	21	0,25	Challenge 600	0,43	l/ha		Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Triticale	Fongicide	9	1	FUNGISTOP FL	1,5	l/ha		Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Triticale	Fongicide	9	0,5	FUNGISTOP FL	0,75	l/ha		Pulvérisateur trainé
Lupin de printemps	Triticale	Moisson	14	1					Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel	
Féverole d'hiver	Blé tendre d'hiver	Herbicide	13	0,1	typhon		0,6	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	14	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10		133	kg/ha	Epandeur engrais porté
Féverole d'hiver	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	16	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole d'hiver	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1					Vibroculteur + rouleaux cage
Féverole d'hiver	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1					Herse rotative (+ rouleau packer)
Féverole d'hiver	Blé tendre d'hiver	Roulage	20	1					Rouleaux type Cambridge
Féverole d'hiver	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	20	0,5					Semoir monograine pneumatique
Féverole d'hiver	Blé tendre d'hiver	Herbicide	21	0,5	Challenge 600		0,86	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Blé tendre d'hiver	Fongicide	10	1	Cinch pro		0,8	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Blé tendre d'hiver	Insecticide	10	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON		0,075	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Blé tendre d'hiver	Moisson	14	1					Moissonneuse-batteuse 230 chx
Féverole d'hiver	Orge de printemps	Herbicide	13	0,1	typhon		0,6	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Orge de printemps	Déchaumage	14	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole d'hiver	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10		133	kg/ha	Epandeur engrais porté
Féverole d'hiver	Orge de printemps	Déchaumage	16	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole d'hiver	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	17	1					Vibroculteur + rouleaux cage
Féverole d'hiver	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	18	1					Herse rotative (+ rouleau packer)
Féverole d'hiver	Orge de printemps	Roulage	20	1					Rouleaux type Cambridge
Féverole d'hiver	Orge de printemps	Semis monograine	20	0,5					Semoir monograine pneumatique
Féverole d'hiver	Orge de printemps	Herbicide	21	0,5	Challenge 600		0,86	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Orge de printemps	Fongicide	10	1	Cinch pro		0,8	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Orge de printemps	Insecticide	10	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON		0,075	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Orge de printemps	Moisson	14	1					Moissonneuse-batteuse 230 chx
Féverole d'hiver	Orge d'hiver	Herbicide	13	0,1	typhon		0,6	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Orge d'hiver	Déchaumage	14	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole d'hiver	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10		133	kg/ha	Epandeur engrais porté
Féverole d'hiver	Orge d'hiver	Déchaumage	16	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole d'hiver	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	17	1					Vibroculteur + rouleaux cage
Féverole d'hiver	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1					Herse rotative (+ rouleau packer)
Féverole d'hiver	Orge d'hiver	Roulage	20	1					Rouleaux type Cambridge
Féverole d'hiver	Orge d'hiver	Semis monograine	20	0,5					Semoir monograine pneumatique
Féverole d'hiver	Orge d'hiver	Herbicide	21	0,5	Challenge 600		0,86	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Orge d'hiver	Fongicide	10	1	Cinch pro		0,8	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Orge d'hiver	Insecticide	10	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON		0,075	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Orge d'hiver	Moisson	14	1					Moissonneuse-batteuse 230 chx
Féverole d'hiver	Triticale	Herbicide	13	0,1	typhon		0,6	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Triticale	Déchaumage	14	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole d'hiver	Triticale	Fertilisation minérale solide	16	1	0-22,5-18-10		133	kg/ha	Epandeur engrais porté
Féverole d'hiver	Triticale	Déchaumage	16	1					Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole d'hiver	Triticale	Travail du sol superficiel	17	1					Vibroculteur + rouleaux cage
Féverole d'hiver	Triticale	Travail du sol superficiel	18	1					Herse rotative (+ rouleau packer)
Féverole d'hiver	Triticale	Roulage	20	1					Rouleaux type Cambridge
Féverole d'hiver	Triticale	Semis monograine	20	0,5					Semoir monograine pneumatique
Féverole d'hiver	Triticale	Herbicide	21	0,5	Challenge 600		0,86	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Triticale	Fongicide	10	1	Cinch pro		0,8	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Triticale	Insecticide	10	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON		0,075	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Triticale	Moisson	14	1					Moissonneuse-batteuse 230 chx
Féverole d'hiver	Sorgho	Broyage	14	1					Broyeur à fléaux
Féverole d'hiver	Sorgho	Travail du sol superficiel	18	1					Herse rotative (+ rouleau packer)
Féverole d'hiver	Sorgho	Roulage	18	1					Rouleaux type Cambridge
Féverole d'hiver	Sorgho	Semis monograine	20	0,5					Semoir monograine pneumatique
Féverole d'hiver	Sorgho	Herbicide	21	0,5	Challenge 600		0,86	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Sorgho	Fongicide	10	1	Cinch pro		0,8	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Sorgho	Insecticide	10	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON		0,075	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Sorgho	Moisson	14	1					Moissonneuse-batteuse 230 chx
Féverole d'hiver	Maïs	Broyage	14	1					Broyeur à fléaux
Féverole d'hiver	Maïs	Travail du sol superficiel	18	1					Herse rotative (+ rouleau packer)
Féverole d'hiver	Maïs	Roulage	18	1					Rouleaux type Cambridge
Féverole d'hiver	Maïs	Semis monograine	20	0,5					Semoir monograine pneumatique
Féverole d'hiver	Maïs	Herbicide	21	0,5	Challenge 600		0,86	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Maïs	Fongicide	10	1	Cinch pro		0,8	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Maïs	Insecticide	10	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON		0,075	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Maïs	Moisson	14	1					Moissonneuse-batteuse 230 chx
Féverole d'hiver	Tournesol	Broyage	14	1					Broyeur à fléaux
Féverole d'hiver	Tournesol	Travail du sol superficiel	18	1					Herse rotative (+ rouleau packer)
Féverole d'hiver	Tournesol	Roulage	18	1					Rouleaux type Cambridge
Féverole d'hiver	Tournesol	Semis monograine	20	0,5					Semoir monograine pneumatique
Féverole d'hiver	Tournesol	Herbicide	21	0,5	Challenge 600		0,86	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Tournesol	Fongicide	10	1	Cinch pro		0,8	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Tournesol	Insecticide	10	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON		0,075	I/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole d'hiver	Tournesol	Moisson	14	1					Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	70	kg/ha	Epandeur engrais porté
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	4	1				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Roulage	5	1				Rouleaux type Cambridge
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	4	0,5				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Herbicide	21	0,5	Challenge 600	0,860	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Fongicide	10	1	Cinch pro	0,800	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Insecticide	10	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,075	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Blé tendre d'hiver	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Féverole de printemps	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	70	kg/ha	Epandeur engrais porté
Féverole de printemps	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Orge de printemps	Semis monograine	4	1				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Orge de printemps	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Féverole de printemps	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Féverole de printemps	Orge de printemps	Roulage	5	1				Rouleaux type Cambridge
Féverole de printemps	Orge de printemps	Semis monograine	4	0,5				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Orge de printemps	Herbicide	21	0,5	Challenge 600	0,860	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Orge de printemps	Fongicide	10	1	Cinch pro	0,800	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Orge de printemps	Insecticide	10	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,075	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Orge de printemps	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	70	kg/ha	Epandeur engrais porté
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Semis monograine	4	1				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Roulage	5	1				Rouleaux type Cambridge
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Semis monograine	4	0,5				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Herbicide	21	0,5	Challenge 600	0,860	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Fongicide	10	1	Cinch pro	0,800	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Insecticide	10	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,075	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Orge d'hiver	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Féverole de printemps	Triticale	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	70	kg/ha	Epandeur engrais porté
Féverole de printemps	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Féverole de printemps	Triticale	Semis monograine	4	1				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Triticale	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Féverole de printemps	Triticale	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Féverole de printemps	Triticale	Roulage	5	1				Rouleaux type Cambridge
Féverole de printemps	Triticale	Semis monograine	4	0,5				Semoir monograine pneumatique
Féverole de printemps	Triticale	Herbicide	21	0,5	Challenge 600	0,860	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Triticale	Fongicide	10	1	Cinch pro	0,800	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Triticale	Insecticide	10	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,075	l/ha	Pulvérisateur trainé
Féverole de printemps	Triticale	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Colza	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	14	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Colza	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	70	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	16	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Blé tendre d'hiver	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Blé tendre d'hiver	Molluscicide	17	0,2	Agrillmace	1	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Blé tendre d'hiver	Insecticide	20	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,05	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Herbicide	20	1	Devrinol F	2,80	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Blé tendre d'hiver	Insecticide	6	1	Cajun	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	6	1	Sulfonitrate-26	160	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	6	1	N33,5	60	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Blé tendre d'hiver	Insecticide	7	1	Mavrik	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Adjuvant	7	0				Intervention non mécanisée
Colza	Blé tendre d'hiver	Fongicide	8	0,5	Pictor pro	0,10	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Fongicide	8	0,5	Cinch pro	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Blé tendre d'hiver	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Colza	Triticale	Travail du sol superficiel	14	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Colza	Triticale	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	70	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Triticale	Travail du sol superficiel	16	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Triticale	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Triticale	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Triticale	Molluscicide	17	0,2	Agrillmace	1	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Triticale	Insecticide	20	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,05	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Triticale	Herbicide	20	1	Devrinol F	2,80	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Triticale	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	120	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Triticale	Insecticide	6	1	Cajun	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Triticale	Fertilisation minérale solide	6	1	Sulfonitrate-26	160	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Triticale	Fertilisation minérale solide	6	1	N33,5	60	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Triticale	Insecticide	7	1	Mavrik	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Triticale	Adjuvant	7	0				Intervention non mécanisée
Colza	Triticale	Fongicide	8	0,5	Pictor pro	0,10	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Triticale	Fongicide	8	0,5	Cinch pro	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Triticale	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Colza	Pois d'hiver	Travail du sol superficiel	14	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Colza	Pois d'hiver	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	70	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Pois d'hiver	Travail du sol superficiel	16	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Pois d'hiver	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Pois d'hiver	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Pois d'hiver	Molluscicide	17	0,2	Agrillmace	1	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Pois d'hiver	Insecticide	20	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,05	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Pois d'hiver	Herbicide	20	1	Devrinol F	2,80	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Pois d'hiver	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	96	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Pois d'hiver	Insecticide	6	1	Cajun	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Pois d'hiver	Fertilisation minérale solide	6	1	Sulfonitrate-26	160	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Pois d'hiver	Fertilisation minérale solide	6	1	N33,5	40	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Pois d'hiver	Insecticide	7	1	Mavrik	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Pois d'hiver	Adjuvant	7	1				Intervention non mécanisée
Colza	Pois d'hiver	Fongicide	8	0,5	Pictor pro	0,10	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Pois d'hiver	Fongicide	8	0,5	Cinch pro	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Pois d'hiver	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx
Colza	Féverole de printemps	Travail du sol superficiel	14	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Colza	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	16	0,5	0-21-21-10	70	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Féverole de printemps	Travail du sol superficiel	16	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Colza	Féverole de printemps	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Féverole de printemps	Semis monograine	17	0,5				Semoir monograine pneumatique
Colza	Féverole de printemps	Molluscicide	17	0,2	Agrillmace	1	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Féverole de printemps	Insecticide	20	1	KARATE AVEC TECHNOLOGIE ZEON	0,05	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Féverole de printemps	Herbicide	20	1	Devrinol F	2,80	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	4	1	N33,5	96	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Féverole de printemps	Insecticide	6	1	Cajun	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	6	1	Sulfonitrate-26	160	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Féverole de printemps	Fertilisation minérale solide	6	1	N33,5	40	kg/ha	Epandeur engrais porté
Colza	Féverole de printemps	Insecticide	7	1	Mavrik	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Féverole de printemps	Adjuvant	7	1				Intervention non mécanisée
Colza	Féverole de printemps	Fongicide	8	0,5	Pictor pro	0,10	kg/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Féverole de printemps	Fongicide	8	0,5	Cinch pro	0,20	l/ha	Pulvérisateur trainé
Colza	Féverole de printemps	Moisson	13	1				Moissonneuse-batteuse 230 chx

# Systèmes de culture PIC - Plateaux

Culture	Précédent	Intervention	Quinzaine	Coefficient d'intervention	Intrants	Quantité apportée	Unité	Matériel
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	287	kg/ha	Epandeur engrais porté
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Fauche	16	1				Faucheuse conditionneuse trainée
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Andainage	17	1				Andaineur
Chanvre	Blé tendre d'hiver	Pressage	17	1				Presse à bottes rondes
Chanvre	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Orge de printemps	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Orge de printemps	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Orge de printemps	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Chanvre	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Chanvre	Orge de printemps	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Chanvre	Orge de printemps	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	287	kg/ha	Epandeur engrais porté
Chanvre	Orge de printemps	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Chanvre	Orge de printemps	Fauche	16	1				Faucheuse conditionneuse trainée
Chanvre	Orge de printemps	Andainage	17	1				Andaineur
Chanvre	Orge de printemps	Pressage	17	1				Presse à bottes rondes
Chanvre	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Orge d'hiver	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Orge d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Orge d'hiver	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Orge d'hiver	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Chanvre	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Chanvre	Orge d'hiver	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Chanvre	Orge d'hiver	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	287	kg/ha	Epandeur engrais porté
Chanvre	Orge d'hiver	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Chanvre	Orge d'hiver	Fauche	16	1				Faucheuse conditionneuse trainée
Chanvre	Orge d'hiver	Andainage	17	1				Andaineur
Chanvre	Orge d'hiver	Pressage	17	1				Presse à bottes rondes
Chanvre	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Triticale	Déchaumage	15	1				Pulvérisateur à disques type cover crop (40 disques)
Chanvre	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Triticale	Semis	15	0,5				Semoir pneumatique à socs
Chanvre	Triticale	Broyage	19	1				Broyeur à fléaux
Chanvre	Triticale	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Chanvre	Triticale	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Chanvre	Triticale	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	287	kg/ha	Epandeur engrais porté
Chanvre	Triticale	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Chanvre	Triticale	Fauche	16	1				Faucheuse conditionneuse trainée
Chanvre	Triticale	Andainage	17	1				Andaineur
Chanvre	Triticale	Pressage	17	1				Presse à bottes rondes
Chanvre	Mais	Travail du sol superficiel	18	1				Herse rotative (+ rouleau packer)
Chanvre	Mais	Travail du sol superficiel	3	1				Vibroculteur + rouleaux cage
Chanvre	Mais	Fertilisation minérale solide	8	1	N33,5	287	kg/ha	Epandeur engrais porté
Chanvre	Mais	Semis combiné	8	1				Semoir pneumatique à socs + Herse rotative
Chanvre	Mais	Fauche	16	1				Faucheuse conditionneuse trainée
Chanvre	Mais	Andainage	17	1				Andaineur
Chanvre	Mais	Pressage	17	1				Presse à bottes rondes