



Institut Supérieur d'Agriculture
48 Boulevard Vauban
59046 Lille Cedex



ARVALIS - Institut du végétal
3, rue Joseph et Marie Hackin
75116 PARIS

Mémoire de fin d'études

La rotation des cultures dans les systèmes céréaliers biologiques : *peut-on combiner performances économiques, agronomiques et environnementales ?*

Première approche d'analyse multicritères



Par Jean-Baptiste BONTE
Promotion ISA 43

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur
Spécialisation Agriculture, Filières et Territoires

-

Septembre 2010

Enseignant responsable :
Jérôme MUCHEMBLED

Maîtres de Stage :
Emeric EMONET
Jean-François GARNIER

Résumé

En réponse à l'augmentation de la consommation de produits alimentaires biologiques, le nombre d'exploitations françaises engagées en agriculture biologique s'accroît. Cependant, certains systèmes sont soumis à de fortes contraintes : l'absence d'élevage et de prairies est un frein technique à la conversion des systèmes céréaliers. Toutefois, des leviers ont été identifiés : la rotation des cultures constitue un réel avantage grâce à sa contribution au maintien de la fertilité du sol et à la maîtrise des adventices.

Des enquêtes réalisées auprès de céréaliers biologiques montrent que la logique de construction des rotations présente des bases communes : les mots d'ordre sont économie, gestion des adventices et maintien de la fertilité. Néanmoins, une adaptation du raisonnement de chacun au contexte local est essentielle pour concevoir une rotation cohérente.

Les préoccupations de ces agriculteurs laissent penser qu'une analyse des rotations doit prendre en considération de multiples facteurs. Une première approche d'analyse a donc été effectuée sur des cas-types régionaux. Elle aborde de nombreux indicateurs à l'échelle de la rotation : coûts de production, marges, temps de travail, charges de mécanisation, gestion des adventices et de la fertilité, consommation d'énergie primaire, émissions de gaz à effet de serre, etc.

Le contexte pédoclimatique et économique régional conditionne la réussite économique de chaque rotation. L'analyse des marges nettes avec aides, situées entre 220 et 730 €/ha, ne permet pas d'arriver à des conclusions claires quant à la rentabilité des rotations longues ou courtes. Sur d'autres aspects, les rotations longues avec luzerne sont des atouts : réduction du temps de travail, contribution à la gestion de l'azote ou encore maîtrise des adventices. Enfin, les rotations longues semblent présenter quelques avantages en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Néanmoins, pour des raisons de débouchés et de contexte pédoclimatique, la luzerne ne peut être envisagée que dans certaines situations.

Cette étude, qui montre qu'il n'existe pas de système idéal en tout point, apporte de nombreuses références sur les grandes cultures biologiques.

Mots clés : agriculture biologique - grandes cultures - rotation - fermes types - analyse multicritères

Abstract

In response to the increase in organic food consumption, the number of French organic farmers is rising. However, some production systems are subject to strong constraints: the lack of livestock and grasslands is a technical limit for crop producers willing to make the transition from conventional to organic farming. Nevertheless, solutions have been identified: crop rotation offers real advantages for organic farming by its contribution to maintain soil fertility and weed management.

A survey of organic crop producers shows that there are common basis in the planning of crop rotation: economy, weed management and soil fertility are essential. However, building an effective crop rotation also involves considering agronomics and market constraints.

Farmers' concerns show that crop rotation analysis must consider many issues. A first approach by a multicriteria analysis has been done on typical farms. It concerns many indicators on crop rotation scale: production costs, profit, working time, mechanization costs, weed and fertility management, non renewable energy consumption, greenhouses gas emissions, etc.

The profitability of each crop rotation depends on local pedo-climatic and economic context. The analysis of net margins (payments included), which are between 220 and 730 €/ha, did not permit any apparent conclusion about profitability of long- or short-sequences crop rotations. However, other aspects display that alfalfa is an advantage for crop rotation on many points: working time decrease, contribution to nitrogen and weed management. Lastly, long-term crop rotations, compared to the short ones, seem to help reducing the amount of greenhouse gas emissions. Nevertheless, due to market and agronomic reasons, alfalfa can only be used in crop rotations under specific conditions.

This study gives many references on organic field crops and shows that there is no ideal system.

Keywords: organic farming – field crops – crop rotation – typical farm – multicriteria analysis

Remerciements

Tout d'abord, je souhaite remercier mes deux maîtres de stage, Emeric EMONET et Jean-François GARNIER. Leur encadrement exceptionnel m'a été d'une aide précieuse tout au long de ce stage.

Je remercie également toutes les personnes sans qui cette étude n'aurait pas été possible : Florian CELETTE, Olivier DEVILLERS, Rémy DUVAL, Laurence FONTAINE, Charlotte GLACHANT, Jean-Pierre GOURAUD, Christine LE SOUDER, Michel MANGIN, Renan MAURICE, Patrice MORAND, Vincent MOULIN, Sandrine MOUTON, Cécile PERRET, Aurélie TAILLEUR.

Merci également à Jérôme MUCHEMBLED pour ses nombreux conseils et la vision extérieure qu'il a su m'apporter.

Un grand merci à l'ensemble des personnes que j'ai eu la chance de rencontrer à Arvalis pour leur accueil chaleureux. Mes pensées se tournent en particulier vers tous mes collègues stagiaires et CDD pour l'excellente ambiance qui a régné ici durant ces 6 mois. Je remercie en particulier Robin et Benoît pour leurs conseils sur ce rapport.

Enfin, je ne peux pas ne pas citer l'ensemble des personnes qui constituent la « Baby Foot Team » d'Arvalis, et en particulier mon coéquipier officiel Jean-Christophe. Je les remercie pour tous ces midis remplis de bonne humeur.

Préambule

La réalisation de cette étude n'aurait pas été possible sans la participation de nombreuses personnes, en particulier les partenaires du projet CASDAR RotAB.

De nombreuses informations contenues dans ce rapport sont le fruit d'échanges productifs et réguliers, notamment avec les conseillers agricoles régionaux. Leurs réseaux d'agriculteurs, leurs bases de données et leur expérience du terrain ont été des éléments essentiels dans le bon déroulement de ce travail.

Afin de faciliter la lecture des résultats, la page suivante (feuille non reliée) reprend les principales caractéristiques des rotations analysées dans cette étude. Il est conseillé de l'utiliser pour une meilleure compréhension des résultats de l'analyse (partie 5, « Présentation et analyse des résultats »).

Sommaire

<u>INTRODUCTION</u>	<u>1</u>
<u>1. CONTEXTE</u>	<u>2</u>
1.1. L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE EN FRANCE	2
1.2. L'ENJEU DES GRANDES CULTURES BIOLOGIQUES	3
1.3. LA ROTATION, CLE DE VOUTE DES SYSTEMES CEREAALIERS BIOLOGIQUES	3
1.4. LE PROGRAMME ROTAB	4
<u>2. PROBLEMATIQUE</u>	<u>6</u>
<u>3. PRINCIPES DE CONCEPTION DES ROTATIONS DANS LES SYSTEMES CEREAALIERS BIOLOGIQUES</u>	<u>7</u>
3.1. LA CONCEPTION DES ROTATIONS EN THEORIE	7
3.1.1. LE CHOIX DES CULTURES	7
3.1.2. LE CHOIX DE LA SUCCESSION CULTURALE	8
3.2. LA CONCEPTION DES ROTATIONS CHEZ LES AGRICULTEURS	8
3.2.1. METHODE ENVISAGEE	8
3.2.2. DESCRIPTION DE L'ECHANTILLON	9
3.2.3. LE CHOIX DES CULTURES	11
3.2.4. LE CHOIX DE LA SUCCESSION CULTURALE	13
3.2.5. LES EVOLUTIONS DE LA ROTATION	15
3.2.6. LA GESTION DE L'ENHERBEMENT	15
<u>4. METHODE DE CONCEPTION ET D'EVALUATION DE ROTATIONS-TYPES</u>	<u>17</u>
4.1. CONSTRUCTION DES CAS-TYPES	18
4.1.1. CHOIX DES ROTATIONS	18
4.1.2. CHOIX DES ITINERAIRES TECHNIQUES CULTURAUX	19
4.1.3. CHOIX DU PARC MATERIEL	19
4.1.4. FINALISATION DES CAS-TYPES	19
4.2. LE CONTENU DES CAS-TYPES	20
4.3. PRESENTATION DES CAS-TYPES	20
4.4. PRESENTATION DES LOGICIELS COMPETI-LIS® ET SYSTERRE®	22
<u>5. PRESENTATION ET ANALYSE DES RESULTATS</u>	<u>23</u>
5.1. RESULTATS TECHNICO-ECONOMIQUES	23
5.1.1. CALCUL DES COUTS DE PRODUCTION DU BLE TENDRE BIOLOGIQUE	23
5.1.2. MARGES	28
5.1.3. TEMPS DE TRAVAIL	39
5.1.4. LA GESTION DE L'ENHERBEMENT PAR LE DESHERBAGE MECANIQUE	39

5.2.	RESULTATS AGRONOMIQUES	42
5.2.1.	LA GESTION DES ADVENTICES DANS LA ROTATION	42
5.2.2.	LA GESTION DE LA FERTILITE DES PARCELLES	43
5.3.	IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ROTATIONS	44
5.3.1.	IMPACT SUR LA CONSOMMATION D'ENERGIE PRIMAIRE	44
5.3.2.	RENDEMENT ENERGETIQUE	47
5.3.3.	EMISSIONS DE GAZ A EFFET DE SERRE	47
6.	LIMITES ET PERSPECTIVES DE L'ETUDE	51
6.1.	LIMITES DE L'ETUDE	51
6.1.1.	ANALYSE DES ENQUETES ROTAB	51
6.1.2.	CONSTRUCTION DES CAS-TYPES	51
6.1.3.	EVALUATION TECHNICO-ECONOMIQUE DES ROTATIONS	52
6.1.4.	EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES ROTATIONS	53
6.2.	PERSPECTIVES D'EVOLUTION	54
	CONCLUSION	55
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	56
	LISTE DES FIGURES	58
	LISTE DES TABLEAUX	59
	LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	60
	ANNEXES	61

Introduction

Les crises sanitaires répétées et les interrogations concernant l'impact de l'agriculture sur l'environnement ont contribué à la prise de conscience de nouveaux enjeux par les consommateurs et pouvoirs publics français. Cela se traduit par une mutation progressive des attentes envers l'agriculture, en termes de qualité des produits comme de préservation de l'environnement. Ces exigences récentes participent à la mise en place d'un contexte favorable à l'agriculture biologique.

Son développement au cours des dernières années n'a cessé de prendre de l'ampleur. Aussi, la consommation de produits biologiques en France connaît une progression sans précédent. Afin de continuer à satisfaire ces besoins grandissants, il est essentiel que la production s'ajuste en conséquence.

En agriculture biologique, la complémentarité entre les cultures et l'élevage est un principe de base. Alors que les effluents d'élevage contribuent à la fertilisation des cultures, la présence de prairies présente l'avantage supplémentaire de participer à la lutte contre les adventices. Par conséquent, les systèmes céréaliers biologiques sans élevage sont confrontés à des freins techniques importants. La rotation - **succession organisée et répétée des cultures sur une parcelle** - constitue un levier essentiel. Toutefois, le manque de références à ce sujet traduit un besoin réel de recherche et d'accompagnement des agriculteurs désireux de se tourner vers l'agriculture biologique.

Fort de ce constat, un projet CasDar a vu le jour en 2008. « RotAB » porte sur les rotations pratiquées ou à conseiller dans les systèmes spécialisés en grandes cultures biologiques. L'hypothèse de travail est que la rotation et les assolements sont un point clé du maintien de la fertilité des parcelles, de la maîtrise des adventices mais aussi de la gestion de l'économie à l'échelle de l'exploitation. C'est dans le cadre de ce projet que s'inscrit cette étude.

Afin d'identifier les éléments essentiels de la construction de rotations céréalières biologiques cohérentes, il est nécessaire d'apporter des références. Pour répondre à ce besoin, cette étude aborde deux grands thèmes :

- (i) Pour comprendre la logique de **conception des rotations**, des enquêtes ont été réalisées auprès d'agriculteurs de cinq régions françaises. Leur analyse permettra d'apporter des pistes de réflexion autour de la construction des rotations et des différents facteurs à prendre en considération.
- (ii) La prise en compte des multiples enjeux de l'agriculture nécessite de procéder à des **évaluations des rotations** sur différents paramètres : performances technico-économiques, impacts agronomiques et impacts environnementaux. A cette fin, des analyses multicritères ont été réalisées sur des « fermes-types ». Cette première approche permettra d'appréhender les résultats de quelques grands types de rotations et, par conséquent, de fournir des pistes de travail quant à la construction de rotations qui intègrent les différents critères étudiés.

Ce rapport s'articule autour de trois parties. En premier lieu, la présentation du contexte et des attentes permettra d'exposer les enjeux de l'étude. Dans un second temps, l'analyse des enquêtes apportera des connaissances quant aux principes impliqués dans la construction d'une rotation. Enfin, l'analyse multicritères des cas-types permettra d'évaluer les performances et les impacts des rotations retenues.

1. Contexte

1.1. L'agriculture biologique en France

L'agriculture biologique française connaît depuis peu de véritables bouleversements. En 15 ans, le nombre d'exploitations engagées en bio a été multiplié par 3,5 (figure 1). On en recensait près de 13 300 fin 2008, soit 2,6 % des exploitations françaises (Agence Bio, 2009a). Après une période calme, 2008 fut l'année de la reprise avec 11 % d'exploitations supplémentaires par rapport à 2007.

Les surfaces ont été multipliées par cinq depuis 1995. Cela représente plus de 583 000 hectares pour l'année 2008, soit 2,12 % des surfaces agricoles françaises. L'augmentation par rapport à 2007 se chiffre à 4,8 %.

En 2009, la progression a pris de l'ampleur : on comptait 677 000 hectares (+16% par rapport à 2008) répartis entre 16 446 exploitations (+ 24%) (Agence bio, 2010).

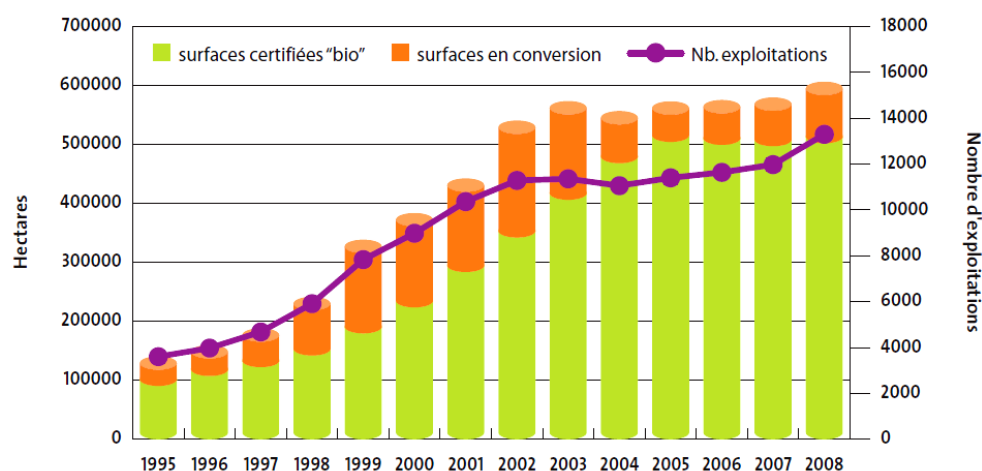


Figure 1 : évolution du nombre d'exploitations et des surfaces françaises en bio (Agence Bio, 2009a)

L'agriculture biologique évolue dans un contexte actuel favorable. Par exemple, le plan du Ministère de l'Agriculture de 2007 annonce des objectifs ambitieux : 6 % des surfaces agricoles françaises en bio d'ici 2012 et l'insertion de 20 % de produits biologiques dans la restauration collective publique de l'Etat (Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche, 2009a). L'agriculture biologique est également soutenue financièrement (aides à la conversion, soutien à l'AB) puisqu'elle intègre de nouvelles attentes de la société, en particulier au niveau environnemental.

Côté consommation, le marché des produits alimentaires biologiques était estimé à 2,6 milliards d'euros TTC en 2008, soit 1,7 % du marché alimentaire français (Agence Bio, 2009b). L'augmentation annuelle, de l'ordre de 10 % entre 1999 et 2005, laisse apparaître un phénomène structurel ne résultant pas d'un simple « effet de mode ». Dernièrement, elle a atteint des progressions allant jusqu'à + 25 % par an.

En 2008, les grandes cultures biologiques couvraient 21 % des surfaces certifiées (Agence Bio, 2009a). Pourtant, presque un tiers de la ressource en blé tendre pour le marché provenait d'importations pour la campagne 2009 (FranceAgriMer, 2010). Pour la France, un gain d'autonomie en matière de grandes cultures biologiques doit donc passer par un accompagnement des exploitations concernées.

1.2. L'enjeu des grandes cultures biologiques

C. David (2002) montre que l'agriculture biologique connaît un développement important dans les grandes zones d'élevage de l'Ouest et du Sud-Est. A l'inverse, les régions à dominante céréalière (Nord, Est) semblent manquer de structures de développement. Il s'y exerce également une forte concurrence avec les productions à haute valeur ajoutée (betterave ou pomme de terre). Les chiffres parlent d'eux-mêmes : alors que 3,6% et 3,1% des surfaces agricoles en Rhône-Alpes et dans les Pays de la Loire sont en bio, seules 0,8% et 0,9% des surfaces dans les régions Ile-de-France et Centre sont concernées (Agence bio, 2009c).

La complémentarité entre les animaux, les cultures et le sol, est un des grands principes de l'agriculture biologique (Fontaine *et al.*, 2009 ; Gerber & Fontaine, 2009). C'est la raison pour laquelle les systèmes céréaliers biologiques sans élevage rencontrent des problèmes de gestion de la fertilité et des adventices :

- l'absence d'effluents d'élevage sur l'exploitation rend la nutrition des cultures plus difficile puisque les engrais de synthèse sont interdits en agriculture biologique (Gerber et Fontaine, 2009) ;
- les cultures fourragères sont délaissées à cause d'un manque de valorisation (absence d'un troupeau à nourrir). Pourtant, ces cultures participent activement à la gestion de l'azote et au contrôle des adventices (bonne couverture du sol, sol non travaillé, fauches répétées) (ITAB, 2005).

A ces freins techniques s'ajoute une certaine difficulté d'approvisionnement en éléments fertilisants, ces derniers étant parfois peu disponibles ou coûteux. Face à ces contraintes, il existe un levier important : la rotation des cultures.

1.3. La rotation, clé de voûte des systèmes céréaliers biologiques

Compte tenu des freins techniques rencontrés, les systèmes spécialisés en grandes cultures biologiques sont peu fréquents. La rotation - **succession ordonnée et répétée des cultures sur une même parcelle** – est un point clé de la réussite du système grâce aux nombreux bénéfices qu'elle apporte (tableau 1) :

Tableau 1 : les bénéfices apportés par la rotation des cultures

Fertilité du sol	Gestion des adventices	Agents pathogènes et maladies	Structure du sol
Une gestion raisonnée des successions culturales permet de participer à la nutrition des cultures.	L'alternance des cultures permet de varier les pratiques culturales. Cela perturbe le cycles des adventices et empêche la sélection d'un certain type de flore.	L'alternance des cultures perturbe les cycles de nombreux autres ennemis des cultures (pathogènes et maladies).	L'alternance de cultures à enracinements variés permet l'amélioration de la structure du sol, une composante essentielle de sa fertilité.

Sources : Briggs, (2008) ; Chambre d'Agriculture du Maine et Loire, (2009) ; Chambre Régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes, (2008) ; ITAB, (2005) ; Laurent *et al.* (2006) ; Molher *et al.*, (2009) ; Rasmussen *et al.*, (2005) ; Gerber & Fontaine, (2009).

Malheureusement, le manque de références sur le sujet dans le contexte français est une réalité (Fontaine, 2009). Pour tenter d'y répondre, un programme de recherche a vu le jour en 2008.

1.4. Le programme RotAB

Désigné sous le nom de RotAB (Rotations en Agriculture Biologique), il est soutenu par le Compte d'Affectation Spéciale pour le Développement Agricole et Rural (CAS DAR) du Ministère de l'Agriculture. D'une durée de trois ans à compter de début 2008, il regroupe de nombreux partenaires : organismes de recherche (INRA, ESA, ISARA), de développement (Chambres d'Agriculture) et instituts techniques (ITAB en chef de file, ARVALIS – Institut du végétal).

Ensemble, ils tentent d'apporter des éléments de réponse à une question centrale : « peut-on construire des rotations et assolements qui limitent les impacts environnementaux tout en assurant une viabilité économique de l'exploitation ? ». Il est question d'une approche transversale basée sur l'étude de multiples critères.

Le projet porte sur les rotations pratiquées ou à recommander en agriculture biologique. Il part de l'hypothèse que le choix des rotations et de l'assolement, est un élément clé de la maîtrise des points sensibles rencontrés dans les systèmes céréaliers biologiques (figure 2).

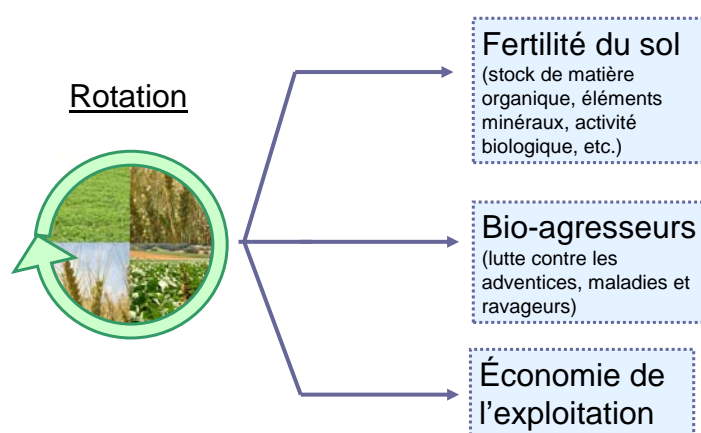


Figure 2 : les principaux impacts de la rotation

Le programme se décompose en trois grands axes :

- l'élaboration d'une approche d'évaluation multicritères des rotations et assolements pratiqués en grandes cultures biologiques ;
- l'analyse, via cette approche, des principales rotations rencontrées ;
- la mise à disposition aux agriculteurs et conseillers d'une « boîte à outils ». Ce panel d'indicateurs a pour but de les aider à concevoir ou réviser les rotations.

On distingue deux volets majeurs. Le premier porte sur l'analyse des rotations pratiquées dans les régions partenaires (axe 1) ou dans des dispositifs expérimentaux de longue durée (axe 2). Le second volet concerne l'évaluation multicritères et la conception de rotations cohérentes (axe 3).

Axe 1 : description de rotations pratiquées par les agriculteurs dans les cinq régions partenaires du projet (Ile-de-France, Centre, Pays de la Loire, Poitou-Charentes, Rhône-Alpes). Cela passe par un travail de caractérisation des rotations rencontrées, puis par la sélection de celles qui semblent les plus représentatives. Certaines d'entre elles feront l'objet d'une étude approfondie. C'est dans le cadre de ce travail que se situe cette étude.

Axe 2 : mise en réseau de cinq sites expérimentaux de longue durée, conduits comme des systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage (figure 3) : La Motte (95) ; Boigneville (91) ; Archigny (86) ; Dunière (26) ; La Hourre (32).

A ces essais « systèmes » (essais de longue durée, évaluation du système dans son ensemble plutôt que culture par culture) ont été attribués des objectifs communs : assurer une rentabilité économique tout en intégrant une contrainte de limitation dans l'usage d'engrais organiques.

Ces essais font également l'objet d'une problématique commune sur l'évolution de la fertilité des sols. Les sorties attendues sont des références en termes de méthode d'analyse et d'interprétation des résultats.



Figure 3 : sites expérimentaux partenaires du projet RotAB

Axe 3 : évaluation des systèmes de cultures via l'outil MASC, développé par l'INRA. Il est actuellement en cours d'adaptation aux spécificités de l'agriculture biologique. Le test des indicateurs de « Masc-AB » permettra d'asseoir la méthode employée. Les résultats porteront sur les performances générales et les impacts environnementaux du système de culture.

Arvalis – Institut du végétal, organisme chargé de l'encadrement de ce stage de fin d'études, participe au projet de différentes manières. Ses représentants collaborent avec l'ITAB pour l'animation scientifique du projet ainsi que la préparation et l'animation des séminaires annuels.

Ils sont également impliqués dans :

- la caractérisation des dispositifs expérimentaux (les essais de La Motte, Dunière et Boigneville sont conduits par Arvalis), le suivi des essais et la valorisation des résultats ;
- la coordination de l'interprétation des résultats sur l'aspect fertilité des sols ;
- la participation à la rédaction d'articles, à l'organisation de la communication (notamment organisation du colloque de restitution).

2. Problématique

En réponse à de nouvelles attentes concernant l'environnement et la santé, voire la nutrition, les pouvoirs publics et la société ont émis le souhait de voir se développer l'agriculture biologique. Cela incite de plus en plus à identifier des leviers aux freins techniques rencontrés.

Cette étude cherche à apporter des éléments de réponse au manque de références concernant la rotation dans les systèmes céréaliers biologiques. A ce titre, deux missions ont été proposées :

- la première consiste à décrire les critères de choix des rotations pratiquées. Nous tenterons de comprendre comment elles sont construites. Pour cela, des enquêtes sur le sujet ont été réalisées auprès d'agriculteurs.
- la deuxième mission consiste en une première approche d'analyse multicritères qui portera sur des aspects économiques, environnementaux et agronomiques. Dans ce sens, cette méthode se veut innovante puisque ces points sont couramment traités individuellement.

Le public visé est constitué de conseillers, organismes divers, instituts, voire directement agriculteurs. Il s'agit clairement d'offrir à tous les acteurs du monde agricole les références nécessaires à une meilleure compréhension des rotations en grandes cultures biologiques.

Les résultats obtenus constitueront un support de travail aux utilisations variées :

- base de réflexion pour des animations, démonstrations et projets de conversion ;
- références régionales en termes de systèmes céréaliers biologiques ;
- première approche d'évaluation multicritères des rotations.

Afin de répondre aux objectifs fixés, l'étude s'articule autour de questions essentielles :

**Quelle est la logique de construction des rotations chez les
céréaliers biologiques ?**

Ces principes sont-ils systématiquement applicables ?

**Peut-on concevoir, grâce à la rotation, des systèmes céréaliers
biologiques économiquement viables tout en limitant les impacts
environnementaux ?**

3. Principes de conception des rotations dans les systèmes céréaliers biologiques

La volonté de réunir différents partenaires au sein du programme RotAB est née d'un simple constat : les freins auxquels sont soumis les systèmes de grandes cultures biologiques peuvent en partie être levés par la rotation des cultures. La compréhension de celle-ci a donc été placée au cœur de ce projet.

Ce travail se présente en deux étapes :

- premièrement, nous exposerons les aspects théoriques de la conception des rotations. Ces principes sont tirés d'éléments bibliographiques (principalement des fiches de conseil) et validés à dire d'expert;
- en second lieu, nous aborderons la conception des rotations perçue par les agriculteurs. Pour cela, des enquêtes ont été réalisées.

3.1. La conception des rotations en théorie

La construction d'une rotation est un processus de plusieurs étapes : en premier lieu, il faut prendre connaissance des caractéristiques propres à chaque espèce. Il s'agit entre autres :

- d'influence sur le milieu (éléments minéraux, structure du sol, impact sur les adventices ou les cultures suivantes) ;
- d'adaptation au sol et au climat ;
- de caractéristiques techniques et économiques.

La prise en compte de ces spécificités permet d'organiser les successions culturales.

Aucune culture ne possède d'avantages en tout point. Par exemple, les cultures rentables présentent généralement des inconvénients d'ordre agronomique, comme des besoins en azote élevés ou une forte sensibilité aux adventices. La prise en compte de ce constat est essentielle pour envisager la construction d'une rotation cohérente.

3.1.1. Le choix des cultures

Les premiers éléments qui conditionnent le choix des cultures sont le contexte pédoclimatique et la valorisation (le débouché est indispensable). Compte tenu de ces contraintes, le raisonnement agronomique peut intervenir.

Les interactions entre les cultures et le milieu sont nombreuses et parfois difficiles à appréhender. Le tableau 2 en présente quelques-unes :

Tableau 2 : les principales interactions entre cultures et milieu

Impact sur les minéraux	Impact sur les adventices	Impact sur les agents pathogènes
Certaines plantes tendent à diminuer le stock d'éléments minéraux du sol alors que d'autres auront une action neutre voire améliorante (cas des légumineuses pour l'azote). (Leclerc, 2001)	Certaines cultures ont un effet nettoyant grâce à une forte concurrence vis-à-vis des adventices (par la lumière, les nutriments ou l'eau) ou grâce à des pratiques culturales spécifiques à la culture. D'autres seront considérées comme salissantes. (ITAB, 2005)	Il existe des plantes hôtes, d'où la nécessité d'éviter leur succession pour limiter la conservation des agents pathogènes sur une même parcelle.

3.1.2. Le choix de la succession culturale

La prise en compte des spécificités de chaque culture permet d'établir des successions culturales. Il existe quelques principes à respecter. On conseille généralement d'alterner :

- légumineuses (fixatrices d'azote atmosphérique) et cultures exigeantes en azote ;
- cultures salissantes et nettoyantes ;
- cultures d'hiver et d'été (pour rompre le cycle des bio-agresseurs) ;
- cultures à enracinements différents (meilleure gestion des nutriments, amélioration de la structure du sol).

On conseille également (liste non exhaustive) :

- qu'une partie des légumineuses de la rotation soit gérée comme des prairies temporaires régulièrement fauchées (la lutte contre les adventices sera accrue) ;
- d'éviter les successions de céréales ;
- de respecter le délai de retour des plantes (exemple : tous les 3 ans pour le blé) ;
- d'éviter les sols nus en hiver (érosion, fuites d'azote).

Le choix d'une grande diversité de cultures au sein de la rotation permet de respecter au mieux les principes énoncés ci-dessus.

3.2. La conception des rotations chez les agriculteurs

Pour comprendre la logique de construction des rotations chez les agriculteurs, des enquêtes ont été réalisées.

3.2.1. Méthode envisagée

Un questionnaire a été construit au préalable dans le cadre du projet RotAB. Il a été imaginé dans l'objectif de comprendre le raisonnement global des rotations et d'identifier les règles de décision (relation entre contexte, objectifs, contraintes et décision prise). Le tout s'articule autour de quatre thèmes :

- l'exploitation : surface, statut, dates clés, productions, etc.
- le contexte pédoclimatique : climat, type de sol, parcellaire.
- les productions végétales : l'assolement et ses évolutions, la rotation théorique et ses objectifs.
- la rotation : il s'agit de décrire une rotation (moyenne ou réelle) afin de présenter ses fondements, les moyens mis en œuvre et les résultats obtenus.

Le guide d'entretien complet est disponible en annexe 1.

Les entretiens ont été menés par les partenaires du projet. Ces derniers ont sélectionné eux-mêmes les agriculteurs au sein de leurs réseaux. Au final, nous disposons de 37 enquêtes réparties dans cinq régions françaises (tableau 3).

Tableau 3 : répartition du nombre d'enquêtes par région

Ile-de-France (IDF)	6 enquêtes
Centre (C)	7 enquêtes
Pays de la Loire (PDL)	8 enquêtes
Poitou-Charentes (PC)	6 enquêtes
Rhône-Alpes (RA)	10 enquêtes

Les régions ont été retenues selon un unique critère : la volonté de participation des partenaires régionaux.

Dans les régions Rhône-Alpes et Pays de la Loire, l'agriculture biologique représente plus de 3 % des surfaces (Agence bio, 2009c). Ces deux régions sont reconnues pour la place importante qu'y occupe l'élevage. Cela nous conforte

dans l'idée que la complémentarité entre les cultures et l'élevage est un atout en agriculture biologique.

A l'inverse, les régions Centre et Ile-de-France font partie des régions céréalières où l'agriculture biologique est moins développée (moins de 0,9 % des surfaces). La région Poitou-Charentes possède plus de 1,3 % des surfaces en AB.

Pour valoriser les enquêtes, nous avons opté pour une méthode d'analyse qualitative. Cette décision a été prise en lien avec la structure du questionnaire, dont la majorité des questions est ouverte. La faible taille de l'échantillon (37 agriculteurs) rend également difficile toute analyse statistique.

Les enquêtes se sont montrées difficiles à interpréter pour deux raisons : leur taille importante et le fait que les entretiens aient été menés par des tierces personnes. Afin d'assurer une bonne réappropriation du contenu de chaque enquête, nous avons opté pour une réécriture des entretiens sous forme d'une synthèse de trois pages par exploitation.

La saisie informatique des données dépend du type d'analyse envisagée. Dans notre cas, nous avons adopté une présentation en tableaux construits de la manière suivante : une ligne = un agriculteur (individu) et une colonne = une question (variable) (modèle du tableau 4). Cette structure confère au fichier une lisibilité maximale et facilite la recherche d'information malgré l'importante quantité de données.

Tableau 4 : structure des tableaux construits pour l'analyse des enquêtes

	Date installation	Date conversion 1	% converti 1	Remarque 1	Date conversion 2	Etc.
IDF1	2002	2002	80%	CTE	2007	...
IDF2	1989	1997	100%	-	-	...
IDF3	1969	1985	progressif		2004	...
IDF4	1984	2001	100%	CTE	-	...
Etc.

Afin de comprendre les résultats qui sont présentés, une description de l'échantillon s'impose. Rappelons que les « cibles » du projet sont les systèmes céréaliers biologiques. Par conséquent, le choix des agriculteurs s'est fait selon ce critère, en essayant d'exclure au maximum les ateliers d'élevage, en particulier ceux nécessitant la présence de prairies dans les assolements.

3.2.2. Description de l'échantillon

Tableau 5 : Surface et main d'œuvre des exploitations enquêtées

Région	Surface moyenne (ha)	Main d'œuvre (UTH)	Surface (ha) par UTH
Centre	127	1.2	106
IDF	157	1.2	131
PDL	96	1.4	69
PC	119	1.5	79
RA	77	1.3	59
Moyenne	110	1.3	84

Les surfaces cultivées par exploitation s'étendent de 35 à 200 hectares pour une main d'œuvre de 1 à 2 UTH (tableau 5).

En Ile-de-France et Centre, la surface par UTH est nettement supérieure à la moyenne. C'est l'inverse en Pays de la Loire et Rhône-Alpes, qui sont les seules régions où l'on retrouve des ateliers d'élevage bovins ou caprins dans les enquêtes. Ces activités sont exigeantes en temps de travail et poussent à réduire le temps accordé aux cultures.

Le contexte pédoclimatique est très variable d'une région à l'autre, parfois au sein d'une même région. En **Ile-de-France** et **Centre**, on trouvera principalement des sols limono-argileux à bon potentiel. Avec des précipitations bien réparties dans l'année, les céréales à paille s'y cultivent très bien.

Dans les **Pays de la Loire**, le climat est assez clément mais très variable. On observe des potentiels de sol bons à moyens.

Malgré des précipitations convenables (700 à 900 mm), la région **Poitou-Charentes** souffre d'une forte évapotranspiration en été. La faible profondeur des sols est un facteur aggravant et les rendements peuvent être pénalisés.

Enfin, en **Rhône-alpes**, l'influence du climat méditerranéen et la protection qu'offrent les reliefs entraînent des étés longs et secs. L'irrigation se présente dans certains cas comme une nécessité.

L'influence du contexte pédoclimatique se ressent fortement dans les assolements (tableau 6).

Tableau 6 : Cumul des surfaces de quelques cultures rencontrées dans les enquêtes (en hectares)

Région	Surface régionale totale	Surface totale enquêtes*	dont :				
			blé tendre	autres céréales	maïs grain	féverole	luzerne
Centre	21071	775	190	147	68	62	132
IDF	4504	907	219	223	20	78	79
PDL	65884	730	158	81	86	61	49
PC	23082	700	117	147	28	14	51
RA	53648	710	172	67	122	5	90
Total	168 189	3822	856	665	324	220	401

*Note : la « surface totale enquêtes » présentée dans le tableau 6 n'est pas la somme des surfaces des cinq cultures présentées mais le cumul des surfaces de toutes les cultures rencontrées dans les enquêtes.

Source surfaces régionales : Agence Bio (2009c)

Le tableau 6 met en valeur la relation culture / contexte. Par exemple, le maïs est plus présent dans les régions qui permettent un réchauffement rapide du sol (Rhône-Alpes). Pourtant, ce même climat présente des risques de sécheresse en été (aux alentours du stade floraison), d'où l'importance de l'irrigation.

Certaines régions sont favorables aux céréales à paille. Il s'agit de l'Île-de-France (49 % des surfaces des enquêtes sont cultivées en céréales à paille), suivie des régions Centre et Poitou-Charentes avec 43 et 38 %.

Le blé tendre est la culture la plus représentée quelque soit la région. Cet argument justifie son utilisation comme culture de référence dans la suite de l'étude.

Tableau 7 : les motivations de la conversion

	nombre de réponses
protection de l'environnement	21
santé de l'agriculteur	16
incitation par des proches	7
meilleure rentabilité de l'AB	7
contexte économique favorable	5
...	

Note : Le nombre de réponses du tableau 7 est supérieur à la taille de l'échantillon puisque plusieurs réponses pouvaient être données. Notons qu'aucune hiérarchie n'a été demandée aux agriculteurs.

La moitié des agriculteurs rencontrés se sont tournés vers une conversion en plusieurs étapes, dans le but de surmonter plus facilement les difficultés rencontrées dans les premières années. Les motivations de la conversion sont variées (tableau 7) : la recherche d'une activité moins néfaste pour l'environnement apparaît comme la réponse la plus citée, suivie de près par des questions de santé (problèmes liés à l'utilisation de produits phytosanitaires). Les aspects économiques sont également pris en compte même s'ils n'apparaissent pas comme le facteur prépondérant.

Notons qu'aucun lien entre la date de conversion et les motivations avancées n'a pu être mis en évidence dans les enquêtes.

Pour étudier la logique de construction des rotations chez les agriculteurs, le travail a été décomposé en deux étapes : la description des caractéristiques de chaque culture et la construction de la succession culturale.

Cette méthode est équivalente à celle d'une étude réalisée fin 2009 dans le cadre du projet RotAB (De Pessoa *et al.*, 2009). Cette étude antérieure confirme que la prise en compte des caractéristiques de chaque culture permet aux agriculteurs de construire leurs successions culturales. L'aspect « construction de la rotation » y est abordé et l'étude fournit des pistes intéressantes quant aux règles de décision à l'échelle de l'itinéraire technique, élément que nous aborderons peu.

3.2.3. Le choix des cultures

Le questionnaire n'aborde pas spécifiquement la question des caractéristiques des cultures. Cependant, grâce à la liberté laissée aux agriculteurs, on retrouve tout au long des enquêtes des informations à ce sujet. Notre méthode d'analyse consistait à recenser les caractéristiques de chaque culture en parcourant les entretiens un à un. Au vu du peu d'informations disponibles, la distinction des résultats par région ne sera pas effectuée.

Les résultats des tableaux qui suivent sont exprimés en fréquence. Il s'agit du nombre d'agriculteurs ayant cité la caractéristique sur l'ensemble des agriculteurs chez qui on retrouve la culture en question. Précisons que les agriculteurs n'ont pas toujours exprimé leurs opinions sur toutes les cultures qu'ils possèdent. L'ensemble des données est disponible en annexe 2.

Ces résultats sont exclusivement issus des enquêtes RotAB. Ils tiennent compte de l'opinion des agriculteurs et ne sont en aucun cas tirés de références bibliographiques. Pour des informations plus adaptées à chaque situation, s'adresser à des organismes agricoles locaux.

Tableau 8 : caractéristiques des principales céréales à paille rencontrées dans les enquêtes

	Culture rémunératrice	Apport d'azote par la culture	culture exigeante en azote	culture peu exigeante en azote	Adventices : culture nettoyante	Adventices : culture salissante	culture sensible ravageurs	culture exigeante en eau
blé	10 / 35		19 / 35			4 / 35		
orge	1 / 19							1 / 19
triticale				1 / 12	6 / 12			
avoine					1 / 10			
seigle				1 / 8	3 / 8			

*absence de données = 0

Le blé tendre, culture de référence, semble être une culture rémunératrice (tableau 8). Cet atout est nuancé par son exigence en azote. A l'inverse, le triticale, qui n'apparaît pas particulièrement rémunérateur, permet de lutter contre les adventices.

La notion d'équilibre prend forme : les cultures rentables sont généralement exigeantes en azote ou profitables au développement des adventices. Les modifications du milieu induites par leur insertion dans la rotation devront être compensées grâce à d'autres cultures possédant des avantages agronomiques.

Tableau 9 : caractéristiques du maïs grain et principaux oléagineux rencontrés dans les enquêtes

	Culture rémunératrice	Apport d'azote par la culture	culture exigeante en azote	culture peu exigeante en azote	Adventices : culture nettoyante	Adventices : culture salissante	culture sensible ravageurs	culture exigeante en eau
maïs grain	4 / 19		8 / 19					16 / 19
colza	1 / 8		1 / 8			3 / 8	3 / 8	
tournesol				4 / 20		3 / 20	5 / 20	

*absence de données = 0

Le tableau 9 confirme que la connaissance des caractéristiques des cultures permet d'identifier leurs besoins et de s'assurer de leur adaptation au contexte pédoclimatique. Par exemple, l'insertion d'un maïs en terre sèche sans irrigation paraît difficile étant donné son exigence en eau.

Tableau 10 : quelques caractéristiques des principales légumineuses rencontrées dans les enquêtes

	Culture rémunératrice	Apport d'azote par la culture	Adventices : culture nettoyante	Adventices : culture salissante	culture sensible ravageurs	culture exigeante en eau
Luzerne		15 / 22	22 / 22			
Trèfle		7 / 11	11 / 11			
Soja	6 / 15	5 / 15		1 / 15		6 / 15
Féverole		11 / 17	2 / 17	2 / 17	2 / 17	1 / 17

*absence de données = 0

Les légumineuses présentent l'avantage de fixer l'azote atmosphérique et d'en restituer une partie aux cultures suivantes (tableau 10). Cela permet de limiter les apports d'éléments extérieurs au système.

Les légumineuses fourragères comme la luzerne et le trèfle participent à la lutte contre les adventices. Cet atout majeur est dû à des fauches régulières qui épuisent les mauvaises herbes ainsi qu'à une bonne couverture du sol. Insérées en tête de rotation pluriannuelle, elles sont un remède efficace contre le chardon.

Ces résultats montrent qu'un raisonnement agronomique est important dans le choix des cultures, mais ils laissent entrevoir l'implication d'autres facteurs. Il s'agit entre autres d'économie, d'adaptation au climat et au sol ou encore d'aspects techniques.

❖ Le climat implique certaines restrictions quant aux choix des cultures. L'exemple le plus marqué dans les enquêtes est celui du maïs et du soja, cultures à semer dans un sol réchauffé pour assurer une bonne levée. Dans les régions où les sols se réchauffent lentement, cela représente une contrainte puisque les semis et la moisson sont retardés, ce qui augmente les risques de récolte en mauvaises conditions (sol engorgé). A l'inverse, dans les régions plus au Sud (par exemple Rhône-Alpes), ces cultures sont exposées à des risques de sécheresse importante pendant l'été.

❖ Les avis concernant l'irrigation varient selon les régions. En Ile-de-France et pour une partie de la région Centre, l'absence d'irrigation ne semble pas poser de problème. A l'inverse, elle apparaît indispensable pour six agriculteurs sur dix de la région Rhône-Alpes.

❖ Les caractéristiques du sol orientent également le choix des cultures, mais à une échelle plus fine, celle de la parcelle. Ainsi :

- les cultures exigeantes ne sont pas cultivées sur des sols à mauvais potentiel ;
- l'engorgement des sols en hiver peut jouer sur le choix de variétés d'hiver ou de printemps ;
- l'assolement est parfois raisonné en fonction du pH du sol ;
- la présence de cailloux restreint la culture de pois ou de lentilles, etc.

❖ Enfin, le choix des cultures demande une prise en compte de paramètres économiques et techniques.

Tableau 11 : la place des débouchés et de l'aspect technique dans le choix des cultures

Débouché / marché		technique	
le débouché est une chose indispensable	14	certaines cultures sont trop difficiles en bio (betterave, lupin, maïs)	3
le marché peut parfois dicter l'assolement	6	certaines cultures demandent trop de temps de travail	1
		les fourrages permettent de dégager du temps	1

Le tableau 11 montre que la valorisation des cultures est une problématique importante. Pour certains, le marché va jusqu'à entraîner des modifications d'assolements à l'échelle d'une année. La durabilité de la rotation n'existe pas sans viabilité économique. De même, l'aspect technique ne peut être négligé. Il est nécessaire d'intégrer au

choix d'une rotation une réflexion quant à la conduite de chaque culture (difficultés potentielles, temps de travail, besoins en matériel, etc.).

Afin de rassembler l'ensemble des éléments que nous avons présentés jusqu'ici, le tableau 12 reprend quelques caractéristiques importantes pour les cultures les plus rencontrées dans les enquêtes.

Tableau 12 : les principales caractéristiques de quelques cultures

Luzerne	Apport d'azote important et culture très nettoyante. Amélioration de la structure du sol avec ses racines profondes et puissantes. Le débouché est dépendant de la région concernée (absence d'élevage et d'une usine de déshydratation à proximité = aucun débouché).
Féverole	Apport d'azote, conduite technique facile. Possibilité de biner si écartement large. Débouché assuré (fabricants d'aliment pour le bétail).
Blé	Culture par excellence en grandes cultures biologiques : rémunératrice, débouché assuré, mais exigeante en azote et assez salissante.
Triticale	Bonne couverture du sol, donc participe à la lutte contre les adventices. Débouché assuré (fabricants d'aliment pour le bétail).
Avoine	Bonne lutte contre les adventices et moins exigeante en azote que le blé. Le marché est plus limité (prix bas en valorisation animale, valorisation possible en floconnerie si existence d'un marché).
Maïs	Culture rémunératrice permettant une bonne gestion des adventices mais exigeante en azote et en eau. Débouché assuré (fabricants d'aliment pour le bétail).
Colza	Crucifère permettant de bien casser les cycles répétés de céréales. Culture binée. Conduite technique parfois difficile, forte variabilité des rendements. Pas de problème de débouché (huilerie).
Tournesol	Culture d'été peu exigeante en azote et en eau, par opposition au maïs. Débouché huilerie.

3.2.4. Le choix de la succession culturale

Dans les enquêtes, les données concernant la conception des rotations sont très hétérogènes. Certains agriculteurs abordent très peu cette question. Pour répondre malgré cela aux attentes, une méthode d'interprétation a été envisagée. Après avoir pris connaissance des grands principes des rotations à partir de bibliographie, nous avons étudié chaque rotation rencontrée afin d'identifier les principes mis en œuvre. Dans l'ensemble, les agriculteurs mettent en application les principes essentiels :

- l'insertion de cultures rémunératrices pour assurer une certaine rentabilité ;
- des actions en faveur de l'optimisation de l'utilisation de l'azote : insertion de légumineuses pour précéder les cultures exigeantes en azote, succession de cultures dont l'exigence en azote diminue (ex : blé > céréale secondaire > tournesol), utilisation de couverts végétaux (principalement crucifères, légumineuses et céréales à paille) ;
- l'insertion de cultures participant à la lutte contre les adventices : cultures naturellement nettoyantes, légumineuses fourragères fauchées en tête de rotation pluriannuelle (luzerne ou trèfle), cultures à grand écartement facilement binées ;
- le respect des alternances pour lutter contre les bio-agresseurs (adventices, ravageurs et maladies) : culture d'hiver et d'été, diversité de cultures ;
- le respect du délai de retour des plantes pour des questions sanitaires, etc.

Pour plus de détails concernant ces principes, voir l'annexe 3. Les rotations rencontrées dans les enquêtes RotAB sont présentées en annexe 4.

Dans le but d'apporter plus de validité à ces résultats, les rotations rencontrées dans les enquêtes ont été caractérisées selon les trois points importants que sont l'économie, la gestion de la fertilité et la maîtrise des adventices. Pour cela, différents indicateurs ont été utilisés.

Dans le cadre du projet RotAB, quelques indicateurs simples ont été imaginés pour caractériser les rotations rencontrées dans chaque région (voir annexe 5 pour les méthodes de calcul). Nous nous sommes servis de ces indicateurs pour caractériser les rotations rencontrées dans les enquêtes (tableau 13).

Tableau 13 : caractérisation des rotations des enquêtes par région selon les indicateurs RotAB

Indicateurs RotAB	Gestion des adventices				Gestion de l'azote		Economie	
	Légumineuse fourragère en tête de rotation	Diversité des cultures	% de culture de printemps	% de cultures binées	Légumineuse fourragère en tête de rotation	% de légumineuses	% de blé	% de maïs
Région	% de rotations concernées				% de rotations concernées	Hors luzerne		
Centre	100%	76%	34%	25%	100%	29%	20%	9%
IDF	50%	74%	19%	67%	50%	30%	32%	3%
PDL	50%	91%	29%	62%	50%	30%	28%	13%
PC	33%	90%	46%	70%	33%	29%	22%	4%
RA	40%	86%	51%	51%	40%	27%	28%	23%

* Attention, la caractérisation des rotations dans le tableau 13 ne se veut pas exhaustive.

La gestion des adventices ne passe pas systématiquement par l'insertion de luzerne. En effet, son intégration dans la rotation est conditionnée par le contexte pédoclimatique et la présence de débouché. Lorsque son insertion ne peut-être envisagée, il est nécessaire de mettre en place des compensations, par exemple par l'intermédiaire d'une importante diversité de cultures ou par l'insertion de cultures binées qui permettent une meilleure maîtrise des adventices.

De manière générale, l'absence de luzerne demandera une grande technicité de la part des agriculteurs, en particulier dans la gestion du chardon qui ne pourra se faire que par le travail du sol en interculture.

La problématique liée à l'azote est gérée en partie par l'insertion de légumineuses. Même si la luzerne n'est pas systématique, on retrouve des proportions en légumineuses suffisantes pour favoriser l'autonomie azotée de la rotation (recommandations à hauteur de 30 %). Cela ne signifie pas pour autant que l'apport d'engrais organiques n'est pas nécessaire (seuls deux agriculteurs sur 37 n'apportent aucun engrais sur leurs parcelles et misent tout sur les légumineuses).

Enfin, pour assurer une certaine rentabilité, on retrouve un minimum de cultures rémunératrices (blé tendre et maïs grain).

Dans l'optique de comprendre au mieux ce qui semble important pour les agriculteurs, les enquêtes abordent la notion d'objectifs de la rotation. On ne remarque aucune hiérarchie entre la gestion de la fertilité, des adventices et la rentabilité. A l'inverse, l'activité biologique du sol et la lutte contre les ravageurs ou maladies ne sont dans aucun des cas la priorité des agriculteurs.

La problématique des systèmes céréaliers biologiques apparaît différente de celle des systèmes céréaliers conventionnels. Les « rattrapages » sont plus difficiles dans les systèmes bio, dans lesquels la fertilité et la maîtrise des adventices se gèrent sur le long terme. Il est donc logique que, en plus d'une nécessité d'atteindre des objectifs économiques, la maîtrise des adventices et le maintien de la fertilité soient placés au cœur des systèmes céréaliers biologiques.

3.2.5. Les évolutions de la rotation

La rotation et les assolements sont amenés à évoluer dans le temps. Nous avons classé les motivations liées à ces changements en trois catégories présentées dans le tableau 14 :

Tableau 14 : les éléments potentiels à l'origine d'évolutions d'assolement

Débouché / économie		Agronomie		Technique	
Présence d'un nouveau débouché intéressant	34	Problèmes d'enherbement	35	Maîtrise technique de la culture	18
Absence de débouché	22	Volonté d'une meilleure utilisation de l'azote	24	Contexte pédoclimatique	16
Evolution de surfaces liée à un contrat	10	Diversification pour limiter les risques des bio-agresseurs (préventif)	17	Manque de matériel adapté	13
Rendements faibles*	9	Problèmes de ravageurs	12	Pas de variété disponible en bio	4
		Problèmes de maladies	5	Optimisation des périodes de travail au long de l'année	4
		Volonté d'améliorer la structure du sol	3	Difficulté d'approvisionnement en engrais	2
		Volonté de limiter l'érosion	2		

* le rendement étant une composante de la rentabilité, il a été placé dans cette catégorie

Le tableau 14 vient appuyer nos précédents résultats. Le marché, l'enherbement des parcelles et la gestion de la fertilité sont les trois grandes priorités dans les systèmes céréaliers biologiques sans élevage. A l'inverse, les problèmes liés aux ravageurs des cultures ou aux maladies semblent de moindre importance.

On note qu'une certaine hiérarchie se dessine entre la gestion des adventices et le maintien de la fertilité. La problématique de l'azote est importante mais gérable par la rotation et les apports d'engrais organiques. A l'inverse, on admettra que la gestion des adventices s'avère parfois plus difficile, en particulier concernant les vivaces. Faire face à une situation d'enherbement intense n'est jamais évident. Les conséquences d'une décision de « casser » une rotation (retour prématuré à la luzerne par exemple) sont lourdes. C'est la raison pour laquelle nous allons faire un point sur la gestion de l'enherbement.

3.2.6. La gestion de l'enherbement

En agriculture biologique, la maîtrise du développement des adventices est fondamentale pour assurer la réussite d'une rotation. Les situations d'enherbement sont assez variées d'une exploitation à l'autre (tableau 15).

Tableau 15 : nombre d'agriculteurs concernés par les principales adventices rencontrées

Vivaces	Chardon	15
	Rumex	9
Annuelles	Folle-avoine	16
	Gaillet	5
	Vulpin	5
	Chénopodes	4

Les deux adventices les plus évoquées sont le chardon et la folle-avoine. Le chardon est une plante vivace dont la maîtrise est difficile à cause de ses rhizomes (racines souterraines qui font office d'organes de réserve). De simples passages d'outils ne parviennent pas à les contrôler. La folle-avoine est une graminée qui produit des graines pouvant germer jusqu'à une profondeur de 30 cm. Ces deux plantes sont très nuisibles : quelques pieds par m² suffisent à pénaliser le rendement du blé (ITAB, 2005).

Bien que certains agriculteurs expliquent qu'il existe un lien entre le contexte pédoclimatique et l'enherbement, nous n'avons pas pu l'identifier clairement. Cependant, les enquêtes mettent en évidence quelques situations favorables :

- vivaces : sol tassé, outils à disque qui multiplient les rhizomes (cas du chardon) ;
- folle-avoine et vulpin : favorisés par les cultures d'automne (en particulier les céréales) ;
- gaillet : favorisé par les cultures d'automne ;
- chénopodes : favorisés par le maïs et le tournesol.

Les agriculteurs s'accordent également pour dire que l'absence de labour entraîne une augmentation significative et parfois « ingérable » des situations d'enherbement.

Face à ce problème, de nombreuses solutions sont mises en place. Le tableau 16 montre que la gestion des adventices ne passe pas uniquement par la rotation. Il existe d'autres moyens de lutte comme des choix de variétés plus concurrentielles ou encore le retard des semis d'automne. Les interventions mécaniques sont également importantes. A ce propos, le binage des céréales à paille est encore peu répandu (à nuancer selon les régions) mais il fait l'objet de réflexion de la part de nombreux agriculteurs. Quelques informations sur les outils de désherbage mécanique sont disponibles en annexe 6.

Enfin, il est nécessaire d'adapter chaque stratégie à la flore présente et de prendre en compte la gêne occasionnée par chaque espèce (par exemple, des véroniques sont beaucoup moins pénalisantes que de la folle-avoine).

Tableau 16 : les méthodes de lutte contre les adventices

Rotation		Cultures		Outils		Adventices	
alternance des cultures (saisonnalité, familles...)	15	détruire les cultures d'hiver envahies et les remplacer par une culture d'été	4	Des outils adaptés passés au bon moment	10	Chardon : éviter les outils à disques (multiplication des rhizomes)	6
luzerne sur plusieurs années	13	choix variétal en prenant en compte le caractère étouffant	3	Désherbage manuel des vivaces	10	prise en compte la nuisibilité de chaque adventice (certaines sont peu gênantes)	4
cultures concurrentielles	8	Retard des semis de céréales d'automne	3	binage des céréales	9	cultures de printemps contre la folle-avoine	6
savoir stopper une rotation (= retour précoce à la luzerne)	4			faux semis	9		

Le tableau 16 met également en avant l'importance accordée par les agriculteurs au désherbage manuel. Une dizaine d'entre eux utilisent cette pratique principalement mise en œuvre lors d'infestations de vivaces comme le chardon ou le rumex. Toutefois, dans les systèmes céréaliers, le désherbage manuel n'est pas systématique, contrairement au cas des cultures à forte valeur ajoutée comme la betterave rouge. L'investissement nécessaire est donc très difficile à appréhender, c'est la raison pour laquelle nous ne l'aborderons pas lors de l'analyse des rotations.

Conclusion de l'analyse des enquêtes

La conception d'une rotation cohérente passe par une bonne connaissance des caractéristiques de chaque culture. Au sein de cinq régions françaises pourtant différentes, les fondements économiques, techniques et agronomiques à respecter se retrouvent chez la plupart des céréaliers biologiques.

Rentabilité, maîtrise des adventices et gestion de la fertilité sont les mots d'ordre de ces systèmes. Alors que par moments la pression du marché est déterminante, la nécessité de respecter les grands principes agronomiques est toujours présente. La notion d'équilibre au sein de la rotation prend tout son sens. Les facteurs étant multiples, cela soutient l'idée qu'une analyse multicritères des rotations est un besoin important.

L'état des lieux des rotations pratiquées en grandes cultures biologiques (Fontaine, 2009) et l'analyse des enquêtes montrent également qu'il existe des différences entre les régions (contexte pédoclimatique et contexte économique). Elles sont à l'origine de rotations très diverses. Malheureusement, les enquêtes ne nous ont pas permis d'aller plus loin dans ce sens. La nécessité d'analyser des cas fictifs s'est donc rapidement imposée. Aussi, l'évaluation multicritères des rotations sera effectuée sur des cas-types régionalisés construits en collaboration avec les partenaires du programme RotAB.

4. Méthode de conception et d'évaluation de rotations-types

L'analyse des enquêtes a montré que les critères à prendre en compte dans la construction d'une rotation sont nombreux : économie, technique, agronomie, environnement. Une évaluation des rotations via une approche multicritères est donc adaptée à l'identification des forces et faiblesses de chaque rotation, ce qui répond à la problématique des agriculteurs.

Par cette approche, nous chercherons à appréhender les performances de différentes manières :

- d'une part, l'échelle de la culture n'est pas toujours appropriée et le raisonnement des agriculteurs se montre plus large. Nous travaillerons principalement à l'échelle de la rotation.
- d'autre part, l'approche multicritères offre une vue d'ensemble des caractéristiques de chaque rotation.

Nous avons imaginé l'évaluation à l'aide de deux outils créés et développés par Arvalis – Institut du végétal (Compéti-LIS[®] et Systerre[®]). Le premier, qui permet la réalisation d'un diagnostic technico-économique, sera épaulé par le second, adapté aux analyses environnementales des systèmes de culture. D'autres critères (gestion de l'enherbement, conditions de réussite, etc.) seront abordés à dire d'expert.

Bien que nous disposions de données via les enquêtes RotAB, nous ne pourrions pas les exploiter par manque d'informations. Les questionnaires étant centrés sur la rotation, ils n'ont pas été construits pour décrire précisément toutes les caractéristiques d'une exploitation agricole.

De ce constat est né la volonté de construire des « cas-types ». Ces fermes fictives répondent à plusieurs objectifs en accord avec notre étude :

- ce sont des exemples de situations « moyennes » qui se veulent proches de la réalité. Notons que nos cas-types ne recherchent pas spécifiquement de représentativité statistique.
- en cas de manque de références, il est possible d'avoir recours à des hypothèses de travail à partir du moment où elles sont justifiées et cohérentes.
- ces cas-types sont décrits de manière précise en vue de l'importante quantité de données nécessaire pour une analyse multicritères.

Les enquêtes affichent une diversité remarquable. Climat, sol et filières sont des éléments qui font que chaque région est différente. De même, l'état des lieux des rotations pratiquées en grandes cultures bio en France met en valeur cette diversité régionale et expose les conséquences sur le choix des rotations.

La diversité des rotations rencontrées dans les enquêtes, dans l'état des lieux des rotations et les discussions avec les partenaires du projet nous ont orienté vers la définition de deux ou trois cas-types par région partenaire du projet. Les partenaires régionaux ont largement participé à la construction de ces cas-types, qui, rappelons-le, se veulent proches de situations réelles mais qui n'ont pas de réelle vocation à être représentatifs sur le plan statistique. Ces cas-types nous permettront d'approfondir une analyse régionale qui n'a pu aboutir dans l'étude des enquêtes.

4.1. Construction des cas-types

Le programme RotAB est centré sur la rotation. C'est logiquement que notre première étape a été le choix des rotations pour chaque région (figure 4). Nous avons ensuite fixé les itinéraires techniques de chaque culture puis le parc matériel pour finalement y associer une structure d'exploitation et un contexte.

Toutes les sources d'information disponibles ont été exploitées autant que possible : les enquêtes RotAB et l'état des lieux des rotations ont été une grande source d'inspiration, mais les nombreux échanges avec les partenaires régionaux restent l'élément clé de cette étape de construction des cas-types.

Tous les cas-types sont présentés dans le détail en annexe 7.

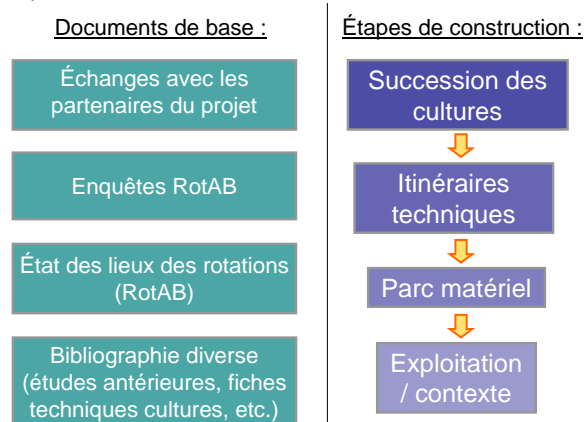
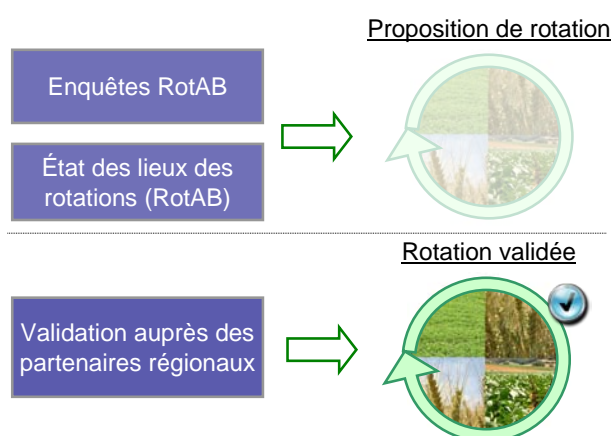


Figure 4 : construction des cas-types

4.1.1. Choix des Rotations



Les enquêtes représentent 6 à 10 rotations par région. Confrontées au document RotAB faisant l'état des lieux des rotations, elles nous ont permis de proposer des rotations aux partenaires régionaux pour validation (figure 5). Le contexte (climat, type de sol, débouchés) a été défini dès ce moment puisque nous avons vu qu'il influence directement le choix des cultures.

La résultante de cette première phase est la définition d'un contexte pédoclimatique, d'une rotation (cultures principales et cultures intermédiaires), ainsi que les justifications concernant le choix des cultures et les débouchés.

Figure 5 : construction des rotations-types

Dans le but de représenter une certaine diversité intra-régionale, des facteurs discriminants ont été retenus en concertation avec les partenaires du projet. Le principal concerne la durée de la rotation : il est en effet intéressant de comparer les rotations longues et les rotations courtes. Notons que ce facteur est très généralement lié à la présence de luzerne. Dans notre cas, on associera alors rotation longue à rotation avec luzerne. De même, l'irrigation peut avoir un impact non négligeable.

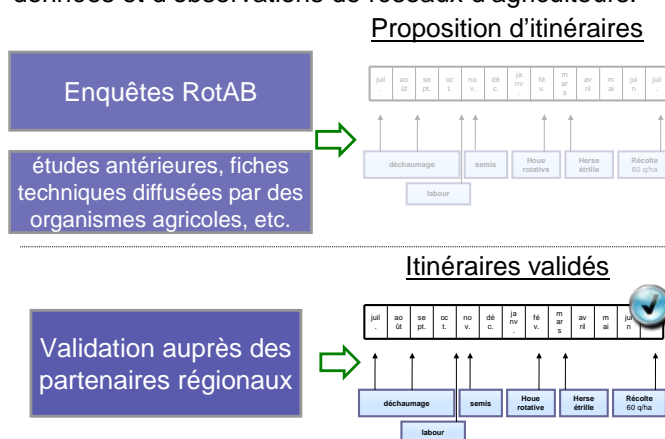
Par conséquent, lors de la construction des rotations, nous avons fait en sorte de construire des rotations sensiblement différentes (avec ou sans luzerne, avec ou sans irrigation) dans le but de les comparer par la suite.

Pour répondre aux attentes du programme, nous nous sommes concentrés sur des systèmes céréaliers sans prairies ni élevage. Cela représente une contrainte, par exemple en région Pays de la Loire où la majorité des rotations longues avec luzerne se trouve chez des éleveurs. C'est la raison pour laquelle on ne retrouve pas ce type de rotation dans les cas-types des Pays de la Loire.

4.1.2. Choix des itinéraires techniques culturaux

La formulation des itinéraires techniques de chaque culture a nécessité de nombreuses références : enquêtes RotAB, complétées par des fiches techniques par culture, étude des coûts de production du blé dans les régions Pays de la Loire et Centre / Ile-de-France (Rouger, 2008), etc. Les propositions ont été validées lors d'un nouvel échange avec les partenaires régionaux (figure 6). Chaque itinéraire est adapté à la rotation dans laquelle se trouve la culture, en fonction du précédent cultural, du contexte, de la stratégie potentielle de l'agriculteur, etc.

Les rendements et le prix des intrants ont été fixés sur la base des enquêtes, de bases de données et d'observations de réseaux d'agriculteurs.



Concernant les prix de vente, nous nous sommes inspirés de références de prix sur les cinq dernières années.

Nous avons retenu des prix de vente identiques d'une région à l'autre dans l'optique de donner plus de justesse aux comparaisons. Notons que les prix du blé tendre peuvent varier en fonction de son classement (bonus de 30 €/t si classé en blé améliorant) ou ceux de la luzerne en fonction de sa valorisation (le foin est vendu plus cher que la luzerne déshydratée ou vendue sur pied). Une description précise de chaque cas-type est proposée en annexe 7.

Figure 6 : choix des itinéraires techniques

4.1.3. Choix du parc matériel

Les besoins en matériel pour chaque exploitation ont été définis à l'aide d'experts à partir des itinéraires techniques validés (figure 7). Ces choix prennent en compte la surface totale et main d'œuvre disponible sur l'exploitation (il a donc fallu faire ce choix en amont). Il existe également quelques références : étude de Rouger (2008), base de données sur la mécanisation, etc.

Cette étape fut aussi l'occasion de discuter de CUMA ou d'appel à des entreprises pour la réalisation de travaux divers (épandage, récolte du maïs, etc.).

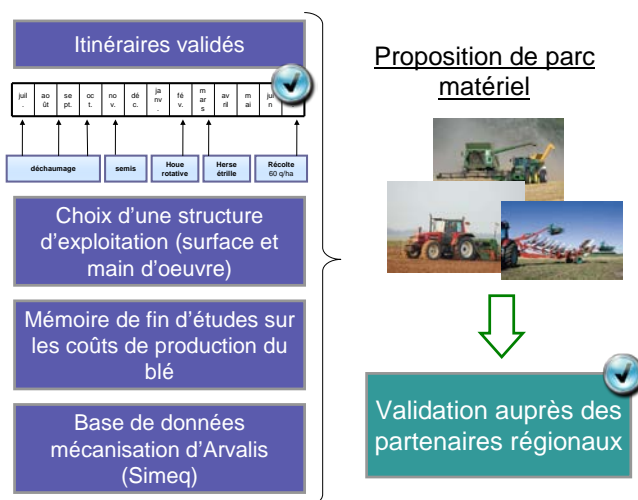


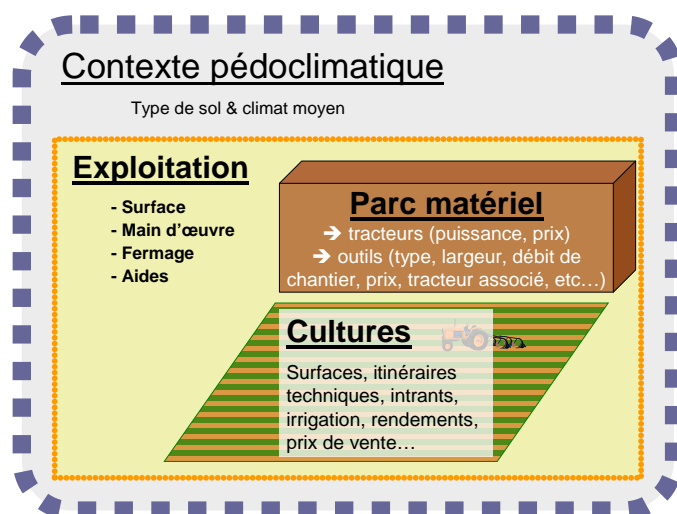
Figure 7 : choix du parc matériel

4.1.4. Finalisation des cas-types

Enfin, d'autres données ont été renseignées pour finaliser la construction des cas-types : montant des aides (cf. annexe 8), fermage, conditions de réussite, etc. De plus, bien que le contexte pédoclimatique ne soit pas une donnée d'entrée pour nos logiciels, sa formalisation est nécessaire pour comprendre nos motivations quant aux choix des cultures, des itinéraires adoptés, etc. Les cas-types ont également été soumis à une dernière validation auprès des partenaires.

Notons que, dans certains cas, nous avons choisi de mettre deux rotations dans la même exploitation, en conséquence d'une décision prise concernant l'irrigation. Dans la réalité, il est assez rare que la totalité des surfaces soit conduite en rotation irriguée, d'autant plus lorsque celle-ci est intensive. C'est dans l'optique d'être les plus représentatifs que nous nous sommes orientés vers cette solution. Les rotations irriguées sont donc généralement accompagnées de rotations non irriguées.

4.2. Le contenu des cas-types



Au final, les cas-types regroupent l'ensemble des informations qui caractérisent une exploitation agricole (figure 8). Ce sont également les données d'entrées nécessaires à nos logiciels.

A cela ont été rajoutées les informations qui permettent la compréhension du cas-type et de nos choix : contexte, conseils techniques, risques, conditions de réussite, etc.

Figure 8 : le contenu des cas-types

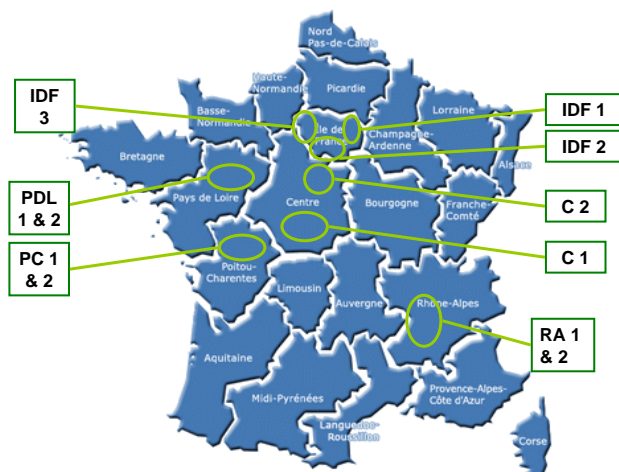
4.3. Présentation des cas-types

En suivant ces étapes de manière logique, nous sommes arrivés à un résultat de 11 rotations types dans lesquelles on retrouve les facteurs discriminants que sont la présence de luzerne et la présence d'irrigation (tableau 17).

Tableau 17 : rotations retenues pour les cas-types

	Durée de la rotation (en années)	luzerne	irrigation	rotation
Centre 1	8	avec	sans	luzerne (3 ans) - blé - triticales - féverole P - blé - orge H
Centre 2	8	avec	avec	luzerne (2 ans) - blé - betterave rouge - blé - maïs grain - féverole H - blé
IDF 1	10	avec	sans	luzerne (2 ans) - blé - triticales - avoine - féverole P - blé - orge P - jachère trèfle blanc - blé
IDF 2	9	avec	sans	luzerne (3 ans) - blé - colza - blé - féverole H - blé - orge P
IDF 3	6	sans	sans	féverole P - blé - maïs grain - triticales/pois fourrager - blé - triticales
PC 1*	9	avec	avec	luzerne (3 ans) - blé - maïs grain - féverole H - triticales - tournesol - orge H
PC 2*	5	sans	sans	féverole H - blé - orge H - tournesol - blé
PDL 1*	3	sans	avec	féverole H - blé - maïs grain
PDL 2*	5	sans	sans	féverole P - blé - tournesol - blé - Triticales/Pois fourrager
RA 1*	6	avec	sans	luzerne (3 ans) - blé - blé - tournesol
RA 2*	3	sans	avec	soja - blé - maïs grain

* les rotations marquées d'un astérisque se trouvent dans la même exploitation.



La figure 9 présente la localisation approximative de chaque cas-type. Au vu de cette diversité géographique, on comprend mieux en quoi l'impact du contexte pédoclimatique sera important.

Figure 9 : localisation géographique approximative des cas-types

Une présentation rapide de chaque cas-type est disponible dans le tableau 18. Pour une description précise de chaque cas-type, voir l'annexe 7.

Tableau 18 : présentation des cas-types étudiés

Centre 1	128 ha pour 1 UTH, située dans la partie Sud de la région Centre. La rotation est longue , à base de luzerne et non irriguée. Principalement constituée de céréales à paille , il y a possibilité de rajouter du maïs si la réserve utile le permet. Le potentiel de sol n'est pas mauvais mais il reste moins bon que celui de la rotation Centre 2. Les débouchés sont peu variés, ce qui explique la forte proportion céréalière.
Centre 2	88 ha pour 1 UTH, plutôt dans la partie Nord de la région Centre. Le potentiel de sol (limoneux à sableux) est meilleur et l'irrigation est disponible. De plus, un marché spécifique permet l'insertion de betterave rouge, une culture légumière de plein champ très bien valorisée. Cela n'aurait pas été possible sur de mauvais sols non irrigués. La présence de cette culture explique aussi que la taille de l'exploitation soit réduite, puisqu'elle demande beaucoup d'attention.
IDF 1	130 ha pour 1 UTH. Il s'agit d'une rotation longue à base de luzerne et de céréales à paille , typique du département de la Seine-et-Marne . Les sols sont des limons battants profonds à bon potentiel. C'est une exploitation de surface moyenne pour la région. L'objectif est d'aboutir à une bonne maîtrise technique en utilisant tous les moyens à disposition (agronomie, matériel, etc.).
IDF 2	180 ha pour 1 UTH. Sud de l'Ile-de-France. les sols sont à dominante limoneuse ou argileuse et sont légèrement séchants. Le colza sera l'une des cultures caractéristiques. L'objectif de cette exploitation de grande taille sera de limiter le temps de travail, ce qui permet d'exploiter seul une grande surface. Cela passe par une forte proportion en luzerne (récoltée par usine de déshydratation), le labour minimum et l'absence de binage sur céréales à paille.
IDF 3	126 ha pour 1 UTH. La rotation est assez courte , ce qui est en partie dû à l'absence de débouché pour la luzerne dans le nord du département des Yvelines . Il s'agit d'une rotation à base de céréales et protéagineux . L'insertion de maïs grain (non irrigué) permet une bonne valorisation mais également de participer activement à la lutte contre les adventices (culture d'été binée).
PC	105 ha pour 1 UTH. Les deux rotations se situent dans la même exploitation : Les terres sont calcaires, superficielles, séchantes, et à potentiel moyen. Le type de sol n'est pas un critère pour l'irrigation. <u>Rotation longue irriguée</u> (45 ha) : rotation à base de luzerne et très diversifiée. L'irrigation se situe sur cette rotation puisqu'elle est de moins en moins utilisée dans la région (restrictions d'eau fréquentes, mauvaise image). Le maïs est inséré dans rotation longue pour un retour moins fréquent et ainsi entraîner une dépendance moindre à la ressource en eau. <u>Rotation courte non irriguée</u> (60 ha) : à base de céréales et féverole , le tournesol vient remplacer le maïs qui serait trop exigeant en eau. Pas de luzerne qui nécessite parfois elle aussi beaucoup l'eau.
PDL	112 ha pour 1 UTH. Les deux rotations se situent sur la même exploitation. Pour information, on ne retrouve pas de rotation à base de luzerne dans cette région puisqu'elles se retrouvent majoritairement chez les éleveurs. Nous avons donc choisi des rotations représentatives des céréaliers purs . <u>Rotation courte irriguée</u> (57 ha) : sols limono argileux, profonds, drainés, bonne RU, peu séchants. Les parcelles irrigables sont celles qui possèdent le meilleur potentiel : c'est sur ce type de sol que la plus-value de l'irrigation sera maximale. Le délai de retour des cultures exigeantes est très rapide (rotation de 3 ans seulement). <u>Rotation courte non irriguée</u> (55 ha) : Sols à potentiel moyen : limons sableux, peu profonds (entre 30 et 60 cm exploitables par les racines), tendance à l'hydromorphie en hiver car non drainé. La période hivernale peut empêcher de rentrer dans les parcelles pendant l'hiver. Le maïs est remplacé par un tournesol , moins exigeant en eau. L'insertion d'un mélange triticale-pois fourrager permet de réduire le temps de travail (aucun travail nécessaire entre le semis et la récolte car mélange couvrant).
RA	93 ha pour 1 UTH. Les deux rotations se situent sur la même exploitation. Elle pourrait se situer dans la plaine céréalière de la Vallée du Rhône , où les sols sont limono argilo sableux profonds. Les potentiels sont assez bons mais le caractère filtrant des sols (ainsi que le climat sec) fait que l'irrigation est une nécessité dans de nombreux cas pour insérer des cultures d'été. <u>Rotation longue non irriguée</u> (54 ha) : cette rotation est pratiquée sur les terres non irrigables de l'exploitation. On ne trouvera donc ni soja ni maïs, qui sont trop exigeants en eau. La seule culture d'été sera du tournesol , plus résistant à la sécheresse. La luzerne y occupe une place très importante (50 %), mais la question de son débouché n'est pas toujours évidente (fermeture de l'usine de déshydratation de la région = nécessité de trouver des éleveurs). <u>Rotation courte irriguée</u> (39 ha) : Cette rotation se pratique sur les terres irrigables. L'irrigation permet d'insérer des cultures à forte valeur ajoutée qui demandent beaucoup d'eau. On retrouve donc du soja et du maïs . La rotation courte permet un retour rapide des cultures à forte valeur ajoutée.

4.4. Présentation des logiciels Compéti-LIS® et SYSTERRE®

Compéti-Lis® est un outil de diagnostic technico-économique pour les exploitations agricoles spécialisées en grandes cultures et cultures fourragères. Il a été créé et développé par Arvalis – Institut du végétal. Son utilisation principale réside dans le calcul d'indicateurs comme les marges, les coûts de production, les charges de mécanisation, la consommation de carburant, le temps de travail, etc. L'objectif du diagnostic est d'identifier les marges de manœuvre et les points à améliorer dans le système.

Le logiciel présente un intérêt majeur : il est accompagné d'une base de données sur la mécanisation (Basemeq®). Celle-ci permet à l'utilisateur de sélectionner parmi des listes tout le matériel qui l'intéresse. Les caractéristiques de celui-ci (prix d'achat, coût d'entretien, débit de chantier, etc.) sont alors renseignées automatiquement et interviennent dans le calcul des indicateurs.

Compéti-lis® permet également d'effectuer des simulations grâce à de simples changements de variables (prix, rendement, prix du carburant, prix des intrants). Cela permet d'évaluer facilement l'impact des variations sur le système.



Systerre® est une base de données qui permet le stockage d'informations issues d'expérimentations « systèmes » ou d'exploitations agricoles (réelles ou fictives). Comme Compéti-Lis®, ce logiciel fonctionne à l'échelle de l'exploitation : les données d'entrées nécessaires sont donc relativement similaires.

Systerre® permet le calcul de nombreux indicateurs, qu'il s'agisse d'économie, d'aspects techniques ou d'environnement. Compéti-Lis® étant déjà utilisé pour le calcul des indicateurs technico-économiques, nous utiliserons Systerre® pour l'analyse environnementale : consommation d'énergie, émissions de gaz à effet de serre, bilan des minéraux. La plus-value du logiciel réside dans les nombreuses bases de références associées (émissions de GES et consommation d'énergie, exportations en éléments minéraux par les cultures, composition des engrais, etc.).

Note : les informations nécessaires à la compréhension des calculs utilisés ainsi que nos hypothèses de travail sont présentées dans l'annexe 8 pour Compéti-LIS® et l'annexe 9 pour SYSTERRE®.

5. Présentation et analyse des résultats

5.1. Résultats technico-économiques

5.1.1. Calcul des coûts de production du blé tendre biologique

Le coût de production permet d'appréhender la compétitivité d'une culture. Exprimé en €/tonne, il est utilisé pour mesurer des performances économiques ou se comparer à un groupe. Par rapport aux marges, il présente l'avantage de ne pas prendre en compte les prix de vente, qui peuvent être variables dans l'espace et dans le temps. La méthode de calcul utilisée par Arvalis – Institut du végétal est la suivante.

$$\text{Coût de production complet} = \frac{\text{Intrants + charges de mécanisation + charges de main d'œuvre (dont MSA) + fermage + Autres Charges Fixes (ACF)}}{\text{Rendement de la culture}}$$

Cette méthode est basée sur le coût de production « complet ». Contrairement au coût de production « réel », il considère l'ensemble des facteurs de production, y compris ceux qui n'apparaissent pas dans la comptabilité de l'exploitation (rémunération des capitaux propres, rémunération de la main d'œuvre familiale)(voir annexe 8). Toute la surface de l'exploitation est considérée en location (fermage). Enfin, l'amortissement du matériel est technique et non comptable. Le coût de production complet donne une image de la pérennité de l'exploitation.

Le coût de production se calcule à la culture et non à la rotation. Nous nous focaliserons sur le blé tendre : il s'agit de la culture la plus représentée (plus de 22% des surfaces dans les enquêtes). C'est également une culture commune à tous les cas-types. Dans les paragraphes qui suivent, nous aborderons uniquement le coût de production complet du blé tendre.

La figure 10 expose des coûts de production du blé variables sur l'ensemble des cas-types. Ils se situent entre 160 et 410 €/tonne pour une moyenne de 287 €/t (en jaune). La relation entre coût de production et rendement est manifeste : une forte productivité permet de réduire les coûts de production. Cette relation n'étant pas parfaite, cela signifie que le montant des charges est différent d'un blé à l'autre, ce que nous allons analyser.

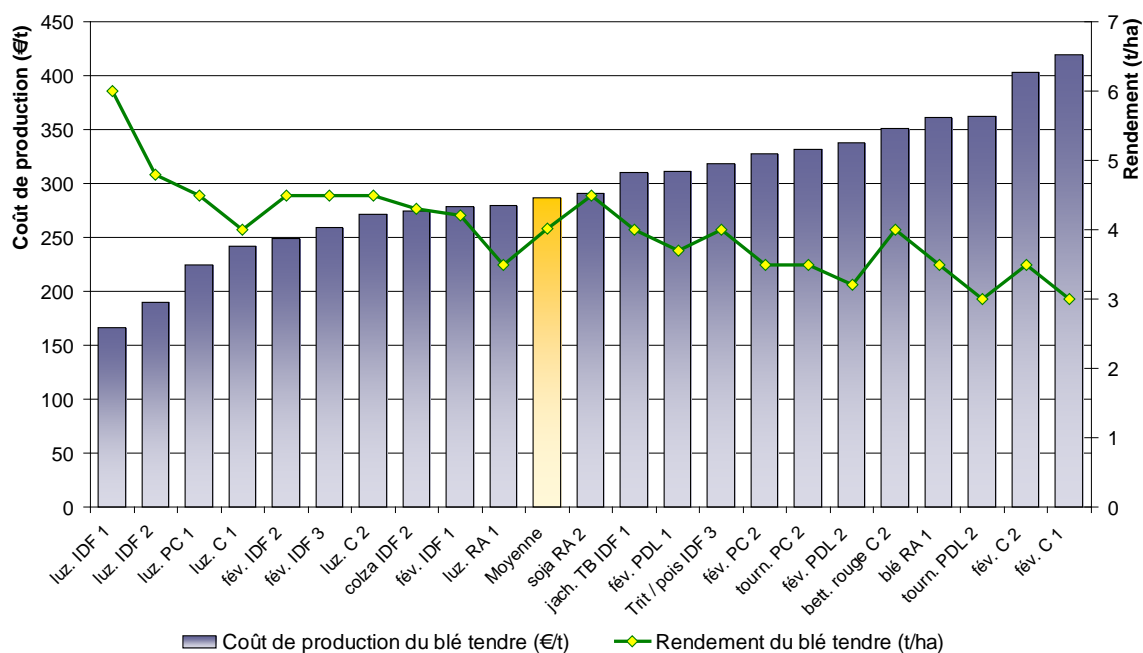


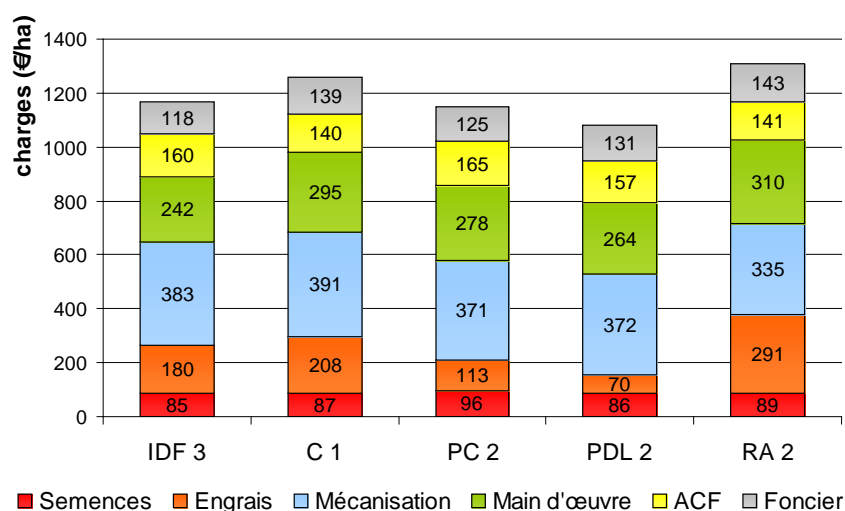
Figure 10 : coûts de production du blé tendre dans les cas-types RotAB (par précédent cultural et par région)

Pour comprendre l'origine de ces écarts, nous envisagerons deux approches des coûts de production : l'approche régionale et l'approche par précédent cultural.

5.1.1.1. Approche régionale du coût de production du blé tendre

Par l'approche régionale, nous chercherons à identifier les variations liées au contexte de l'exploitation (potentiel de sol, disponibilité des engrais, etc.).

Pour simplifier l'interprétation, nous ne retiendrons qu'un seul blé pour chaque région. Les cinq blés sélectionnés présentent un précédent cultural équivalent, afin de nous affranchir au mieux de l'influence du précédent. Nous retiendrons la féverole : il s'agit du précédent le plus représenté. Cependant, en région Rhône-Alpes, il s'agit d'un soja puisque la féverole n'est pas cultivée. Dans la rotation Centre 1, l'influence de la luzerne est considérée nulle puisque le blé est implanté plus de quatre ans après. Enfin, l'irrigation n'a pas été prise en compte étant donné qu'aucun blé dans les cas-types n'est irrigué.



Dans un premier temps, il est essentiel de comprendre la composition des charges à l'hectare. Elles seront ensuite divisées par le rendement pour obtenir le coût de production à la tonne.

Dans ce cas, l'écart maximal entre le montant des charges est de l'ordre de 200 €/ha. Il s'explique par des différences notables entre chaque poste (figure 11).

Figure 11 : montant des charges sur blé tendre, précédent protéagineux

Semences : les charges relatives à l'achat ou la production de semences sont équivalentes d'une région à l'autre. Les quelques différences observées sont principalement dues aux doses de semis ou au prix de la semence certifiée, légèrement variables d'une région à l'autre. Dans tous les cas, environ $\frac{3}{4}$ des parcelles de blé seront semées avec des semences de ferme pour des raisons d'ordre économique (coût divisé par deux par rapport aux semences biologiques certifiées).

Engrais organiques : les stratégies de fertilisation sont très diverses. Les apports se raisonnent en fonction de l'objectif de rendement, de la disponibilité des produits, de la rotation, etc. Par exemple, en région Rhône-Alpes, la quantité d'azote apportée et le coût de l'unité d'azote élevé entraînent des charges importantes. A l'inverse, dans les régions de l'Ouest, la présence d'élevages avicoles permet l'utilisation d'un produit régional moins coûteux (tableau 19).

Tableau 19 : la fertilisation azotée du blé tendre, précédent protéagineux

	rendement blé (t/ha)	quantité d'azote apportée (kg/ha)	Type de produit	Coût de l'unité d'azote (€/U)
Centre 1	3	72	Farines de viande	2.8
IDF 3	4.5	126	Fientes de poule	1.4
PC 2	3.5	100	Compost de fumier de volaille	0.88
PDL 2	3.2	50	Compost de fumier de volaille	1.4
RA 2	4.5	100	Farines de plume	2.91

Mécanisation : les charges de mécanisation sont liées à la structure de l'exploitation. Les écarts observés sont la conséquence de différences dans la stratégie de gestion du parc matériel (dépendante des surfaces), d'itinéraires techniques, du choix de faire appel à des entreprises de travaux agricoles (ETA), etc. Globalement, ces charges sont équivalentes d'une région à l'autre, sauf pour la région Rhône-Alpes où la récolte est effectuée par entreprise, ce qui dans ce cas revient moins cher pour l'agriculteur.

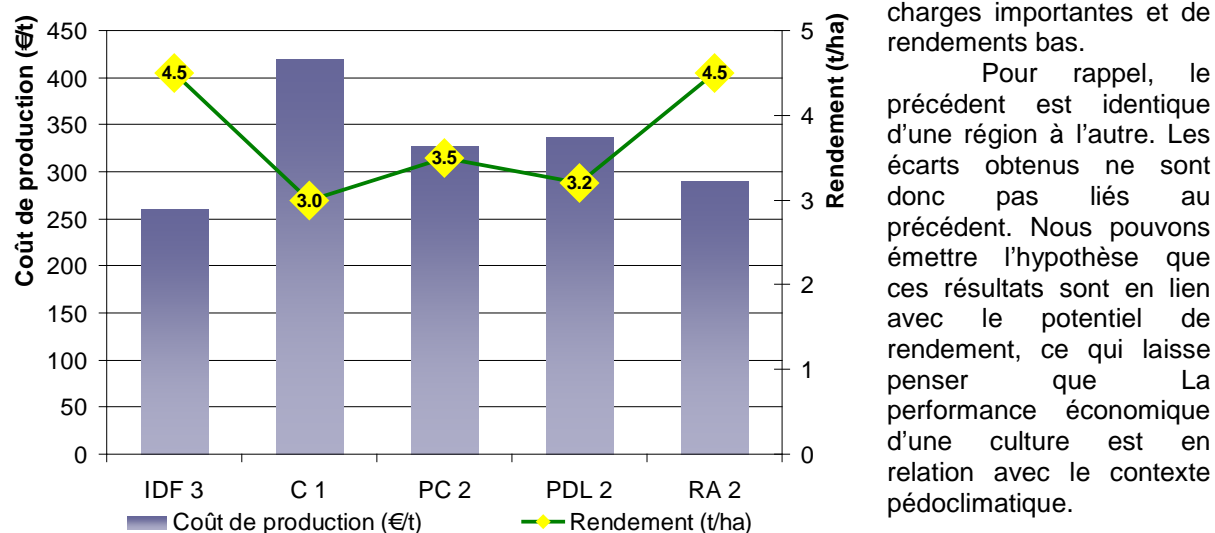
Main d'œuvre : les charges de main d'œuvre sont liées au temps de traction. Elles dépendent également des cotisations MSA, qui sont calculées en fonction du résultat net de chaque exploitation. Celles-ci sont assez élevées pour l'exploitation de Rhône-Alpes et Centre 2 puisqu'elles affichent de bons résultats nets (plus le résultat est élevé, plus les cotisations MSA seront élevées).

Fermage : le montant du fermage (foncier) a été fixé avec les conseillers régionaux.

Autres charges fixes : elles sont très semblables d'une région à l'autre puisque calculées à partir d'une norme fixée par Arvalis. Leur poids dans la composition du coût de production est modéré.

Les coûts de production correspondants s'évaluent de 260 à 420 €/tonne (figure 12). L'impact du rendement semble important.

Les rendements élevés pour IDF 3 et RA 2 permettent de réduire sensiblement les coûts de production. A l'opposé, le blé du cas-type Centre 1 présente un coût très élevé, conséquence de



charges importantes et de rendements bas.

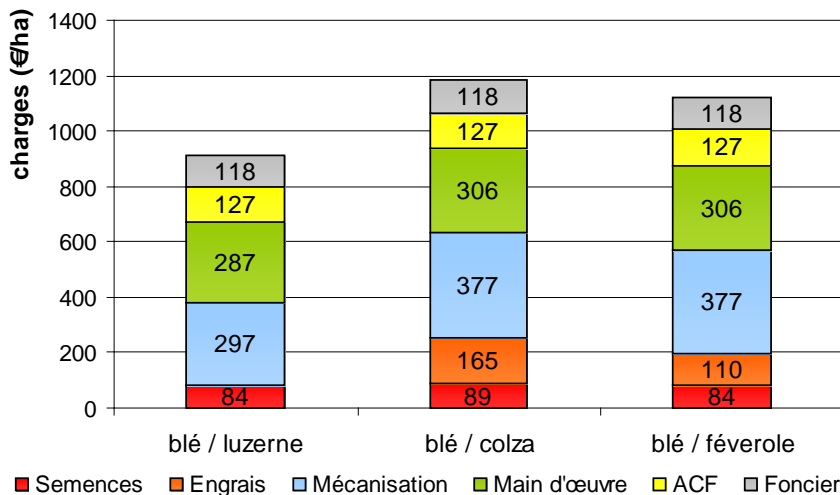
Pour rappel, le précédent est identique d'une région à l'autre. Les écarts obtenus ne sont donc pas liés au précédent. Nous pouvons émettre l'hypothèse que ces résultats sont en lien avec le potentiel de rendement, ce qui laisse penser que la performance économique d'une culture est en relation avec le contexte pédoclimatique.

Figure 12 : coûts de production du blé tendre, précédent protéagineux

Le contexte pédoclimatique peut donc avoir une influence directe sur les performances économiques d'une culture et plus largement d'une rotation. Toutefois, la rotation en elle-même est aussi très importante. Le précédent cultural d'une culture peut avoir un impact non négligeable sur sa conduite : réduction des doses d'azote après les légumineuses, réduction du nombre de passage pour le désherbage après une luzerne, etc. L'approche des coûts de production du blé tendre par précédent cultural est donc essentielle.

5.1.1.2. Approche du coût de production du blé tendre en fonction du précédent

Afin de n'évaluer que l'impact du précédent cultural, il est indispensable de limiter les influences du contexte (en particulier potentiel de rendement lié au sol). Pour cela, nous allons concentrer cette approche sur une seule exploitation. Le cas-type IDF 2 a été sélectionné puisqu'il s'agit de celui dans lequel on retrouve la plus grande diversité de précédents pour le blé tendre (luzerne, féverole et colza).



La figure 13 présente des montants de charges sensiblement différents selon le précédent du blé. Pour interpréter, il est nécessaire d'analyser ces résultats par précédent.

Figure 13 : montant des charges engagées sur le blé en fonction du précédent (cas-type IDF 2)

Blé de luzerne : la luzerne présente un double avantage : d'une part, elle restitue au sol de grandes quantités d'azote. D'autre part, elle lutte activement contre l'enherbement grâce à ses fauches répétées et son pouvoir couvrant naturel.

Par conséquent, les agriculteurs adaptent la conduite du blé de luzerne :

- il est fréquent d'effectuer une impasse en termes de fertilisation (aucun des blés de luzerne des enquêtes n'est fertilisé).
- il est possible de réduire les efforts engagés en matière de lutte contre les adventices. Dans le cas-type IDF 2, cela se traduit par une absence de labour (remplacé par un quatrième déchaumage, opération moins coûteuse) et un nombre de passages de herse étrille réduit à un.

Les charges relatives aux engrais organiques et à la mécanisation sont donc diminuées. Cela permet également une réduction du temps de traction se traduisant par une baisse des charges de main d'œuvre.

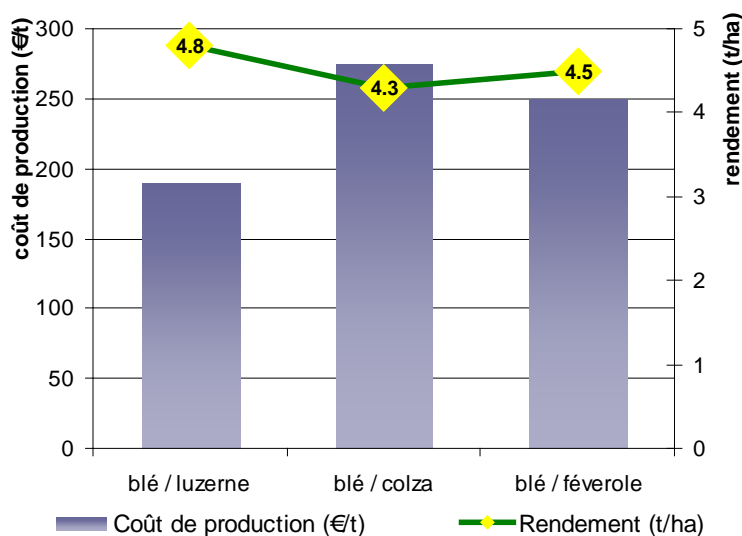
Blé de colza : bien que le colza soit considéré comme un bon précédent, l'apport d'azote est nécessaire. La lutte contre les adventices impose également un retour au labour et des passages de herse étrille supplémentaires. Les charges de fertilisation, de mécanisation et de main d'œuvre s'en trouvent augmentées par rapport au blé de luzerne.

Blé de féverole : la féverole ne permet pas particulièrement de lutter contre l'enherbement. A l'inverse, elle est un atout en matière de fertilisation puisqu'en tant que légumineuse, elle restitue une certaine quantité d'azote aux cultures suivantes. Cependant, ces quantités sont nettement inférieures à celles observées après luzerne.

Par conséquent, la stratégie liée au désherbage dans le cas-type IDF 2 ne présente aucune particularité après cette féverole. Elle est identique à celle du blé de colza. A l'inverse, la restitution d'azote au sol permet une légère réduction des quantités apportées (2 t/ha de vinasses contre 3 t/ha sur le blé de colza). Seules les charges de fertilisation sont réduites sur le blé de féverole par rapport au blé de colza.

Ces tendances s'appliquent à l'ensemble des cas-types. Dans tous les cas-types, la luzerne permet de diminuer les charges de fertilisation, de mécanisation et de main d'œuvre sur le blé tendre par rapport aux autres précédents (voir annexe 10). On note également que les quantités d'azote apportées sur un blé de féverole seront légèrement en baisse.

En additionnant à ces montants de charges variables des rendements du blé tendre en lien direct avec le précédent, les tendances s'accroissent (figure 14).

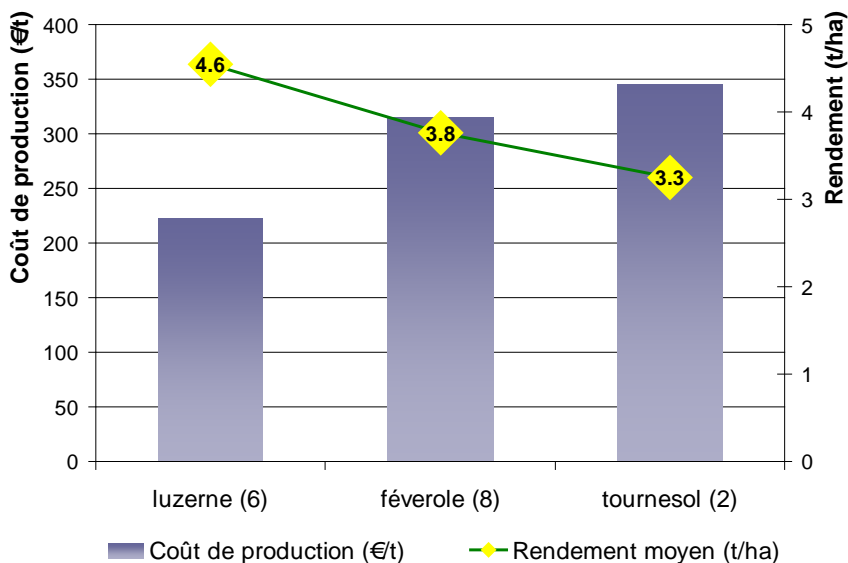


En plus d'un niveau de charges réduit, la luzerne permet une réduction des coûts de production du blé suivant grâce aux bons rendements qu'elle permet.

La féverole n'atteint pas ce niveau élevé mais semble constituer un léger atout par rapport au colza.

Figure 14 : coûts de production du blé tendre en fonction du précédent (cas-type IDF 2)

Pour valider ces hypothèses, il est nécessaire d'observer les coûts de production du blé en fonction du précédent sur l'ensemble des cas-types. Pour cela, nous utiliserons des moyennes. La figure 15 présente la moyenne des coûts de production du blé en fonction de trois précédents sur l'ensemble des cas-types (le chiffre entre parenthèse représente le nombre de blés ayant permis le calcul).



Le graphique nous confirme que le précédent du blé peut avoir un impact significatif sur son coût de production, donc ses performances économiques.

Le graphique nous confirme que le précédent du blé peut avoir un impact significatif sur son coût de production, donc ses performances économiques.

Ainsi, la luzerne arrive nettement en tête des précédents les plus favorables grâce à la possibilité de réduire les charges tout en augmentant le rendement du blé.

Figure 15 : moyenne des coûts de production du blé en fonction du précédent

Les coûts de production en fonction des autres précédents sont présentés en annexe 10.

A retenir – les coûts de production

Ils sont en relation étroite avec le **contexte** de l'exploitation, en particulier le potentiel de sol ainsi que la disponibilité et le prix des engrais organiques.

L'influence du **précédent culturel** est elle aussi importante. La luzerne permettra par exemple de réduire de manière significative les coûts de production du blé qui lui succède.

Bien que les coûts de production permettent une première approche en termes de résultats économiques, ils ne répondent pas entièrement à notre objectif d'analyse à l'échelle de la rotation. Pour cette raison, il est indispensable de passer par l'étude des marges.

5.1.2. Marges

5.1.2.1. Méthode de calcul

Les marges sont des indicateurs de la rentabilité d'une culture, d'une rotation ou d'une exploitation. Un coût de production inférieur au prix de vente permet de dégager une marge positive (un bénéfice). Il en existe trois types : les marges brutes, directes ou nettes.

Les marges de la rotation étant dépendantes des marges de chaque culture, nous procéderons dans un premier temps à l'analyse des marges brutes et nettes par culture.

Marge brute avec aides (€/ha) = [(rendement * prix de vente) + aides] – intrants

Marge nette avec aides (€/ha) = Marge brute avec aides - (charges de mécanisation – charges de main d'œuvre – fermage – charges diverses).

Pour passer des marges brutes aux marges nettes, on intègre le montant des charges de mécanisation, de main d'œuvre (dont MSA), le fermage et les charges de structure.

Dans un second temps, nous analyserons les marges nettes à l'échelle de la rotation. Nous ne retiendrons que ces dernières puisqu'elles intègrent l'ensemble des charges nécessaires à l'activité de production (intrants, mécanisation, main d'œuvre, foncier, charges de structure...). Les aides (DPU + soutien à l'AB) seront également intégrées puisqu'elles permettent de prendre en compte l'ensemble des revenus de l'agriculteur. Enfin, la MSA a été calculée à partir de la marge nette avec aides à l'échelle de l'exploitation, ce pour les trois contextes de prix différents (en considérant qu'un contexte de prix s'installe sur plusieurs années). Ainsi, dans les simulations, lorsque les prix augmentent, le résultat net de l'exploitation est meilleur, ce qui fait augmenter les cotisations MSA que l'exploitant doit verser.

En matière de prix de vente, notre choix s'est orienté vers la prise en compte de prix moyens sur la base des cinq dernières années. A l'aide de références nationales, nous avons fixé pour chaque culture un prix bas, moyen et haut (tableau 20). Les prix retenus sont identiques d'une région à l'autre afin d'obtenir des comparaisons plus justes. Notons que le prix de vente du blé tendre est augmenté d'environ 30 €/t s'il est classé blé améliorant* (taux de protéines élevé). Ce sont les choix variétaux qui régissent en partie ce taux de protéines.

Tableau 20 : hypothèses de prix de vente des cultures (en €/tonne)

	Prix bas	Prix moyens	Prix hauts
Blé tendre*	215	290	350
Orge	140	250	300
Avoine	140	230	320
Triticale	140	230	330
Soja	550	600	650
Féverole	200	260	330
Mélange triticale / pois (1)	160	240	320
Luzerne déshydratée	60	80	100
Luzerne foin	100	125	150
Luzerne vendue sur pied	50	60	70
Maïs	160	220	290
Colza	400	450	550
tourneol	275	375	500

(1) attention, variable selon la proportion de chaque culture à la récolte

Note: pour faciliter la lecture des figures qui suivent, des codes couleur par type de rotation ont été établis :

- les rotations avec luzerne sont surlignées par un cadre de couleur verte ;
- les rotations sans luzerne ne sont pas surlignées ;
- les rotations irriguées sont entourées par un cadre en pointillés bleus.

5.1.2.2. Marges à l'échelle de la culture

Dans l'étude des marges, nous retiendrons le contexte de prix moyens.

L'étude des marges à l'échelle de la culture permettra de faciliter la compréhension de la rentabilité de chaque rotation. La figure 16 présente les marges brutes moyennes de chaque culture sur l'ensemble des cas-types. L'interprétation des résultats doit être faite en considérant le nombre de valeurs qui constituent ces moyennes (représentées par les nombres entre parenthèses).

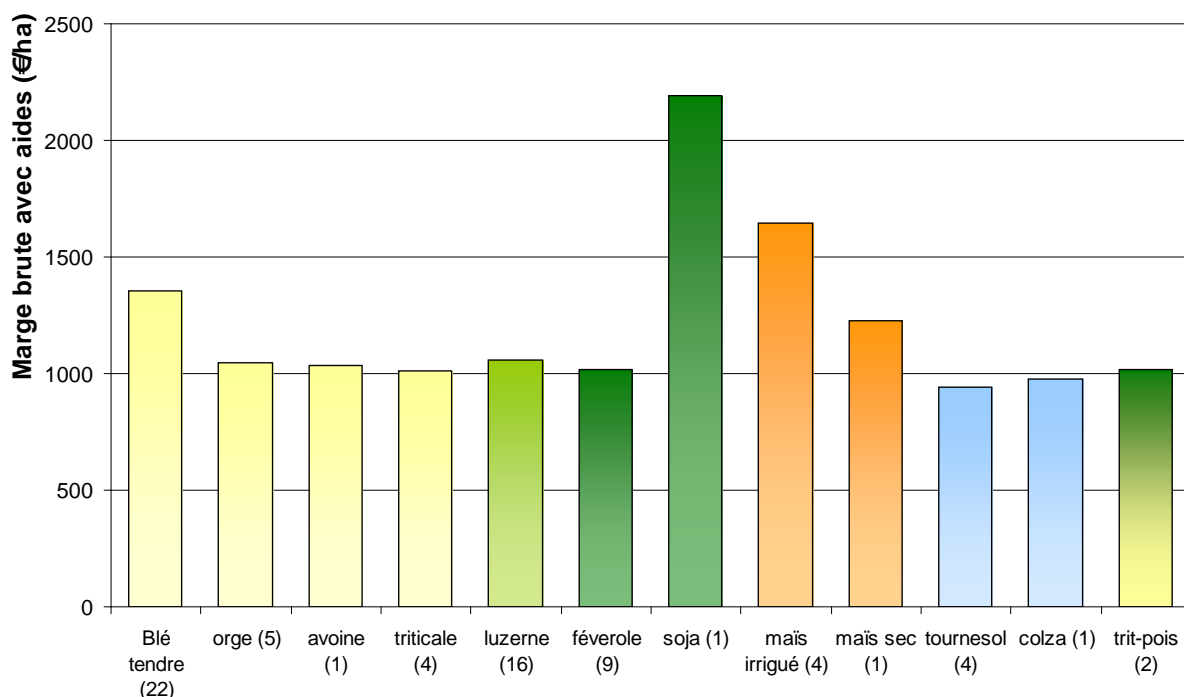


Figure 16 : marge brute avec aides, moyenne par culture

La culture dont la marge brute à l'hectare est la plus élevée est sans aucun doute la betterave rouge, avec plus de 7 000 €/ha pour l'unique cas représenté. Ces résultats sont appuyés par une étude récente sur les coûts de production des légumes de plein champ. La moyenne de sept valeurs affiche une marge brute de 6900 €/ha (Euvrard, 2010). Cette information a été retirée de la figure pour ne pas « écraser » les autres valeurs.

D'autres cultures se démarquent :

- le soja, (cultivé uniquement dans le cas-type Rhône-Alpes) bénéficie d'un rendement de 3,7 t/ha (climat bien adapté, irrigation disponible) et de prix très élevés (600 €/t) ;
- le maïs grain irrigué, grâce à des rendements de l'ordre de 8,5 t/ha, présente lui aussi une bonne marge brute ;
- enfin, les résultats du blé tendre et du maïs non irrigué sont légèrement supérieurs à ceux des autres cultures présentes.

L'hypothèse avancée dans les enquêtes se confirme : en raisonnant en marge brute (ce que font la plupart des agriculteurs) le soja, le maïs grain et le blé tendre sont des cultures rémunératrices.

Pour appuyer ces résultats, il est important de procéder à l'analyse des marges nettes, dont les résultats sont plus proches de la rentabilité réelle de la culture (elle prend en compte les charges d'intrants mais aussi la mécanisation, la main d'œuvre, les charges de structure, etc.) Dans ce raisonnement en marge nette, les écarts sont différents (figure 17). Certains résultats sont d'ailleurs surprenants (en particulier sur luzerne et maïs grain).

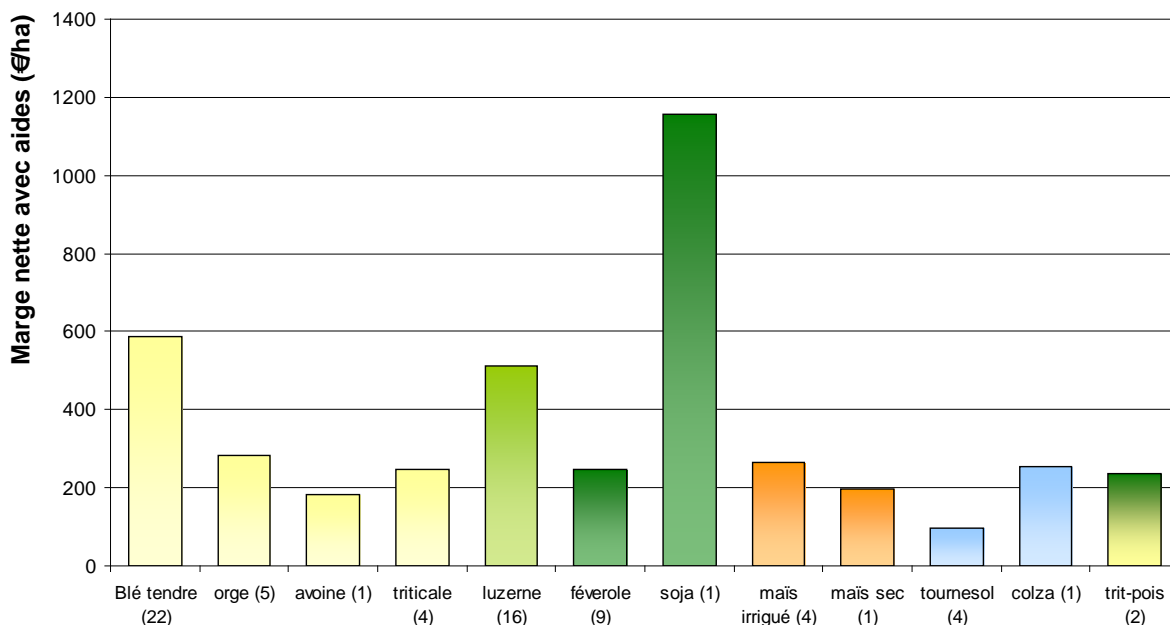


Figure 17 : marge nette avec aides, moyenne par culture

En comparaison avec les autres cultures, la **luzerne** présente de meilleurs résultats en marge nette qu'en marge brute. Lorsque la récolte est effectuée par entreprise (la plupart du temps dans nos cas-types), le coût est intégré au prix de vente. Les charges de mécanisation et de main d'œuvre se résument donc à un travail du sol superficiel et au semis. Elles sont ensuite réparties sur les plusieurs années de présence de la luzerne. Cela explique pourquoi l'écart entre marge brute et nette est assez faible. Attention, ces résultats doivent être nuancés. La rentabilité de la luzerne est très dépendante du contexte. Les rendements pourront ainsi aller du simple au double en fonction du sol et du climat. De même, sa valorisation ne peut se faire sans éleveurs ou usine de déshydratation à proximité.

A l'opposé, la chute du **maïs** (irrigué comme sec) est très marquée. Elle s'explique en partie par des montants de charges de mécanisation et de main d'œuvre élevés :

- la présence d'un couvert végétal en interculture nécessite un passage de semoir supplémentaire et d'autres passages liés à la destruction du couvert (broyage) ;
- le sol laissé nu entre la destruction du couvert et le semis du maïs reçoit des nombreux faux-semis afin d'éviter toute infestation d'adventices ;
- l'irrigation induit généralement des charges de mécanisation supplémentaires (amortissements des enrouleurs et des tuyaux). Cependant, elles sont très variables d'une exploitation à l'autre ;
- enfin, le séchage du maïs, de l'ordre de 20 €/tonne, est un surcoût non négligeable.

Notons que l'unique maïs sec (IDF 3) reçoit également un passage supplémentaire d'épandeur (43 €).

Ces explications (hormis irrigation et séchage) s'appliquent aussi au **tournesol**, culture d'été dont la conduite se rapproche de celle du maïs grain.

Enfin, la betterave rouge, qui présentait de marges brutes de 7 000 €/ha, affiche des marges nettes de 3 000 €/ha (charges de mécanisation élevées (1 800 €/ha) à cause de l'arrachage et de la manutention, charges de main d'œuvre élevées car 100 heures de travail salarié sont nécessaires pour le désherbage manuel sur le rang, à raison de 15 €/heure).

Ces premières tendances montrent que la composition même de la rotation aura un impact important sur sa rentabilité. Pourtant, d'autres facteurs entrent en jeu. L'analyse des marges nettes à l'échelle de la rotation nous permettra de le comprendre.

5.1.2.3. Marges nettes à l'échelle de la rotation

La figure 18 présente les marges nettes avec aides par rotation. En ne considérant que les marges par culture, les résultats ne sont pas toujours ceux attendus. L'exemple le plus frappant est celui de la rotation RA 1, composée à 50 % de luzerne et 33 % de blé. Ces cultures, a priori rémunératrices, ne permettent pas à la rotation d'afficher de bons résultats. L'explication est simple : les niveaux de rendement sont inférieurs à la moyenne. L'analyse économique des marges ne peut donc pas se contenter d'étudier la rotation théorique : le contexte est un élément essentiel.

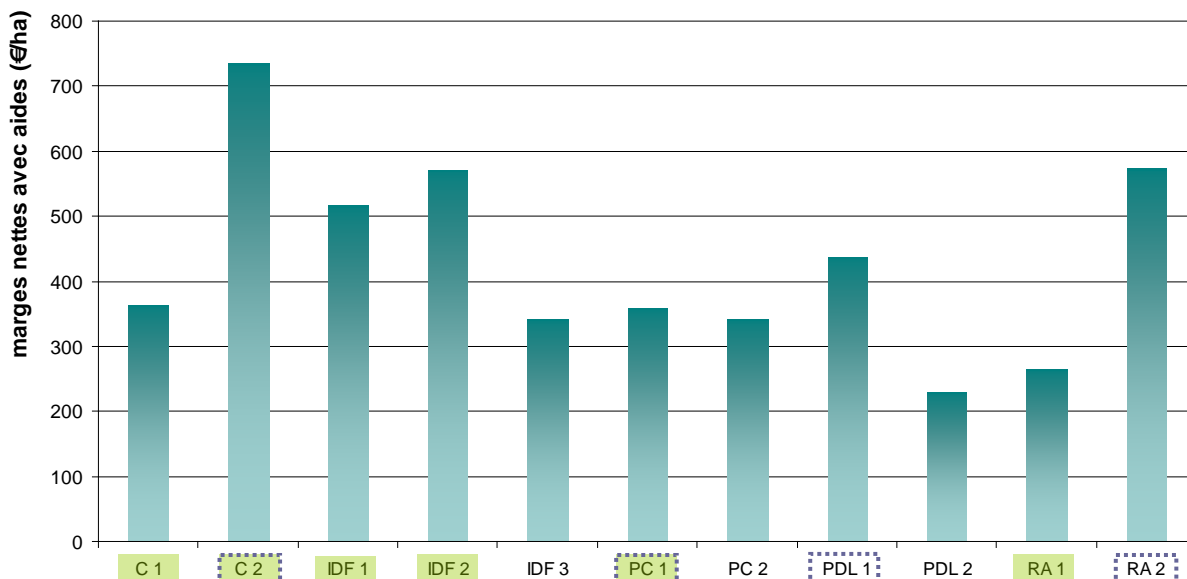


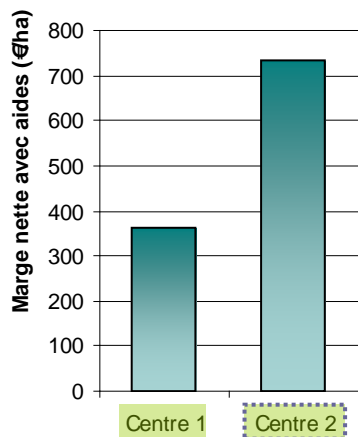
Figure 18 : marges nettes à l'échelle de la rotation

Ne pouvant pas conclure à la simple lecture de ce graphique, nous allons analyser les résultats nets avec une approche régionale. L'impact du contexte sera minimisé et la comparaison entre les rotations devrait se montrer plus aisée.

► Marges nettes des rotations en région Centre

La rotation **Centre 1** est majoritairement composée de luzerne et de céréales à paille. Pourtant, elle affiche des résultats moyens (figure 19), qui s'expliquent par des rendements relativement bas (rendement moyen du blé à 3,5 t/ha pour Centre 1 contre 4 t/ha en moyenne sur l'ensemble des cas-types). Le potentiel de sol moyen justifie en partie ces résultats.

Le contexte pédoclimatique de la rotation **Centre 2** permet à la luzerne et aux céréales à paille d'atteindre des rendements légèrement supérieurs que Centre 1. Pourtant, leur rentabilité est plus faible.



On retrouve dans la rotation Centre 2 une culture légumière de plein champ. La betterave rouge présente une rentabilité exceptionnelle pour un céréaliier. Cela gonfle de manière importante la marge de l'exploitation, donc les cotisations MSA. Comme les cotisations sont réparties équitablement entre toutes les cultures, certaines sont pénalisées. Toutefois, l'excellente rentabilité de la betterave rouge permet un résultat très correct à l'échelle de la rotation.

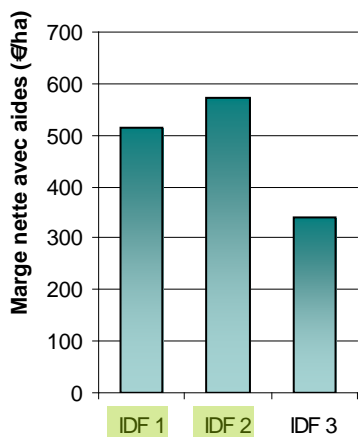
Notons cependant que cette culture ne peut pas être mise en place dans toutes les conditions (par exemple, la présence de 5 cuiseurs de betterave rouge dans le seul département du Loiret permet la présence d'un marché de niche).

Figure 19 : marges nettes des rotations en région Centre

► Marges nettes des rotations en région Ile-de-France

Dans nos cas-types, les rotations à **base de luzerne** en Ile-de-France sont une réussite économique (figure 20). Dans un contexte favorable (climat et type de sol), la luzerne et le blé en forte proportion assurent la rentabilité des rotations. Les rendements moyens du blé en témoignent : 4,7 t/ha pour IDF 1 et 4,5 t/ha pour IDF 2 (la moyenne sur l'ensemble des cas-types est de 4 t/ha). Ces propos doivent être nuancés étant donné l'impact important du contexte sur la réussite de la luzerne.

Toutefois, la rotation IDF 1 présente des résultats inférieurs à la rotation IDF 2 en raison de la présence d'une jachère trèfle, déficitaire car non valorisée (broyée et restituée au sol). Elle reste néanmoins nécessaire pour rajouter un dernier blé en fin de rotation.



Malgré un contexte lui aussi plutôt favorable, la rentabilité de la rotation courte **IDF 3** est moins bonne.

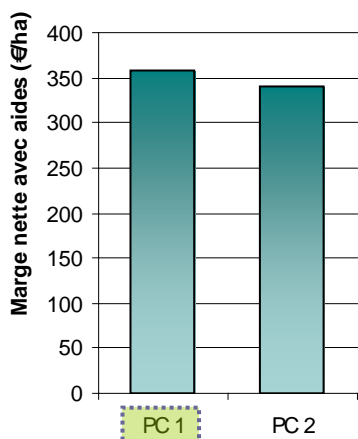
Dans les cas-types IDF 1 et 2, la luzerne est assez rentable, mais l'absence de débouchés dans la partie Nord Yvelines ne permet pas son insertion dans la rotation IDF 3. Notons qu'en règle générale, les débouchés de la luzerne ne sont pas toujours faciles à trouver. En conséquence, l'absence de luzerne entraîne des charges de fertilisation et de désherbage plus importantes.

Enfin, d'autres cultures présentent des marges faibles : maïs grain, peu rentable du fait de ses charges élevées (mécanisation, séchage nécessaire mais non pris en compte dans le prix de vente) et triticale, dont la fertilisation semble trop importante par rapport à l'objectif de rendement.

Figure 20 : marges nettes des rotations en Ile-de-France

► Marges nettes des rotations en Poitou-Charentes

Sur les cinq années de la rotation courte non irriguée **PC 2**, deux cultures de blé présentent des résultats nets autour de 500 €/ha, soit un peu moins que la moyenne sur l'ensemble des cas-types. Cela traduit un potentiel de rendement restreint : le sol est très superficiel, caillouteux et à faible réserve utile. On retrouve également du tournesol à hauteur de 20 %, une culture peu rentable du fait de ses rendements faibles pour des charges élevées (culture d'été nécessitant l'implantation d'un couvert et de nombreux faux semis).



Malgré la présence de luzerne sur un tiers des surfaces, de blé et de maïs irrigué rentable (470 € de marge nette avec aides), la rotation longue **PC 1** ne semble pas réussir à se démarquer (figure 21). Les rendements de la luzerne sont inférieurs à ceux rencontrés dans les autres régions, l'explication principale est le manque d'eau important : des sols superficiels, à faible réserve utile, une forte évapotranspiration en été, etc.

La nécessité d'irriguer (un an sur trois en luzerne dans le cas-type, obligatoire pour le maïs grain) entraîne une forte augmentation des charges (jusqu'à 420 €/ha de charges fixes d'irrigation). Ces niveaux de charges très élevés s'expliquent par un recours à l'irrigation de moins en moins fréquent, dont les nombreuses restrictions d'eau sont à l'origine. Le matériel d'irrigation revient alors plus cher (amortissements plus élevés).

Figure 21 : marges nettes des rotations en Poitou-Charentes

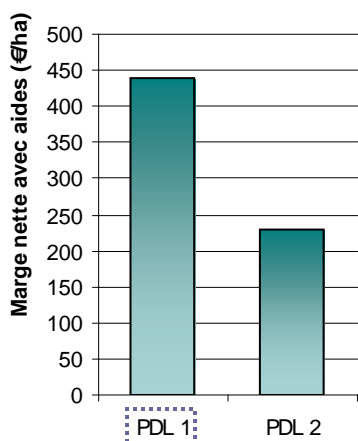
► Marges nettes des rotations en Pays de la Loire

La rotation courte irriguée **PDL 1** présente des résultats corrects (figure 22). Le faible montant des charges engagées sur féverole permet à cette culture d'obtenir un meilleur résultat que la moyenne des cas-types : marge nette de 480 €/ha contre 250 €/ha en moyenne sur l'ensemble des féveroles. Le binage permet en effet une bonne maîtrise de l'enherbement, ce qui offre à l'agriculteur la possibilité de faire une impasse sur le labour avant l'implantation de la féverole.

Le maïs irrigué est également meilleur que la moyenne (marge nette à 380 €/ha contre 270 €/ha en moyenne) grâce à des charges de mécanisation et d'irrigation optimisées.

A l'opposé, la rotation **PDL 2** n'est pas rentable sans les aides. Plusieurs éléments entrent en jeu.

Premièrement, le potentiel de sol est moins bon que celui de la rotation PDL 1 (les deux rotations se situent dans la même exploitation). En effet, lorsque l'on met en place l'irrigation, le choix s'oriente vers les parcelles au meilleur potentiel, ce qui permet de maximiser la plus-value des apports d'eau.



Ensuite, sur le même principe, seules les parcelles à bon potentiel sont drainées. Les sols de la rotation PDL 2, non drainés, sont donc souvent engorgés en hiver. Cela oblige l'agriculteur à se tourner vers une variété de féverole de printemps, moins productive et plus sensible à la sécheresse. Dans ce cas, ses faibles rendements lui font atteindre un résultat hors aides de - 275 €/ha (la féverole représente 20 % des surfaces de la rotation PDL 2).

Enfin, l'insertion d'une autre culture d'été est indispensable pour une bonne gestion de l'enherbement. L'irrigation étant absente, il faut s'orienter vers un tournesol, moins exigeant en eau que le maïs mais aussi moins rentable.

Figure 22 : marges nettes des rotations dans les Pays de la Loire

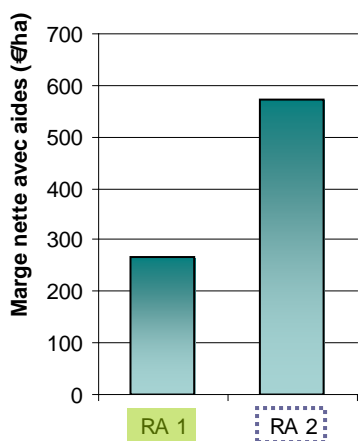
► Marges nettes des rotations en Rhône-Alpes

La rotation **RA 1** est composée pour moitié de luzerne et d'un tiers de blé. Pourtant ses marges nettes sont faibles (figure 23).

Les sols sont plutôt séchant et le climat chaud et sec de la région entraîne parfois des manques d'eau en été. C'est la raison pour laquelle les rendements de cette rotation non irriguée sont globalement plus faibles que la moyenne. A cela s'ajoute d'autres constats :

- des apports de potasse sont nécessaires sur luzerne pour éviter les fortes carences (à raison de deux apports pour trois ans de luzerne). Cela entraîne un surcoût direct de l'ordre de 100 €/ha. La valorisation moyenne de cette luzerne (vente sur pied) ne permet pas de combler les pertes ;
- le tournesol de fin de rotation possède une marge nette avec aides négative (charges de mécanisation élevées, utilisation de semences certifiées pour le semis du couvert en interculture, faibles rendements).

Notons que, dans la région, les systèmes avec luzerne ne peuvent se développer qu'à condition de l'existence d'un débouché local, ce qui n'est pas garanti dans toutes les situations.



A l'opposé, la rotation irriguée **RA 2** est une réussite. Pourtant, le maïs irrigué présente des charges très élevées : semences certifiées pour le couvert végétal, resemis fréquents, charges de mécanisation importantes.

Heureusement, le soja, extrêmement bien valorisé grâce à son prix haut et un contexte pédoclimatique adapté, permet d'offrir à la rotation une marge nette située dans les plus élevées.

Figure 23 : marges nettes des rotations en Rhône-Alpes

A retenir - les performances économiques à l'échelle de la rotation

En raison de charges plus importantes et de rendements parfois moins bons, la rentabilité des **rotations courtes non irriguées** atteint rarement des niveaux très élevés.

L'**irrigation** apporte une certaine plus-value. C'est une assurance de rendement puisqu'elle permet de couvrir les besoins en eau. D'autre part, elle permet l'insertion du maïs, culture d'été plus rentable que le tournesol.

La **luzerne** des rotations longues permet une réduction des charges (fertilisation et désherbage) sur les cultures des quelques années suivantes, tout en assurant des rendements corrects.

Ces observations ne peuvent être généralisées. Le **contexte** est un facteur dont la prise en compte est indispensable : en influençant largement le choix des cultures (type de sol, climat, débouchés) et les niveaux de rendements, il conditionne sans aucun doute la réussite économique de chaque exploitation. Ce constat est particulièrement vrai au sujet de la luzerne, culture sensible au contexte pédoclimatique et dont les débouchés sont très dépendants du contexte régional (présence d'éleveurs ou d'une usine de déshydratation à proximité).

Notons que la rentabilité peut être vue différemment lorsque l'échelle étudiée est celle de l'exploitation. Nous n'aborderons pas cette question dans le rapport mais l'annexe 11 présente un exemple de l'impact du passage de l'échelle de la rotation (par hectare) à l'échelle de l'exploitation.

Pour compléter notre analyse des marges nettes moyennes, nous avons effectué des simulations. Cela nous permettra d'appréhender la sensibilité des rotations aux variations des prix de vente des cultures, de rendements, ou du prix des intrants.

5.1.2.4. Impact des variations des prix de vente sur la rentabilité des rotations

Le contexte de prix influence directement la rentabilité d'une rotation. Pour évaluer cela, trois contextes de prix de vente ont été définis : haut, moyen et bas. Dans notre cas, un contexte de prix se traduira par une application de ce prix à l'ensemble des cultures.

La réaction des marges d'une rotation suite à une évolution des prix dépend des cultures qui la composent. Chaque culture présente une « sensibilité » différente aux variations de prix. Cette sensibilité correspond à l'impact d'une variation de prix sur le produit brut (rendement * prix de vente).

- **prix de vente** : en réponse aux règles du marché, les prix de vente des cultures varient inégalement. Alors que certaines cultures présentent des écarts de prix faibles (luzerne par exemple), d'autres seront plus variables (tournesol, colza).
- **rendement** : étant une composante du produit brut, il conditionne la sensibilité de chaque culture. Pour une variation de prix de 100 €/tonne, l'impact sur la marge à l'hectare d'une culture sera plus important si les rendements sont élevés.

Le tableau 21 permet d'illustrer ces propos à partir de l'exemple du blé tendre et du colza.

Tableau 21 : comparaison de la sensibilité du colza et du blé aux variations de prix de vente

	Rendement moyen	Prix de vente	Hausse des prix	Produit brut	Impact de la hausse des prix sur le PB
Colza	1.8 t/ha	moyen : 450 €/t	$\Delta 1 = + 100 \text{ €/t}$	810 €/ha	$\Delta 2 = + 180 \text{ €/ha}$
		haut : 550 €/t		990 €/ha	
blé	4 t/ha	moyen : 290 €/t	$\Delta 1 = + 60 \text{ €/t}$	1160 €/ha	$\Delta 2 = + 240 \text{ €/ha}$
		haut : 350 €/t		1400 €/ha	

Le tableau 21 montre qu'une forte hausse des prix $\Delta 1$ (valeur absolue) n'implique par obligatoirement un impact important sur la marge la culture $\Delta 2$. Dans le cas du colza, cela s'explique par des rendements bas. Malgré un $\Delta 1$ plus faible, le blé tendre est plus sensible que le colza aux évolutions des prix de vente.

En appliquant cette méthode à toutes les cultures (pour chaque culture, utilisation des moyennes des cas-types pour les rendements et les prix), on peut établir un niveau de sensibilité aux variations de prix pour chacune (tableau 22). Plus d'explications sont fournies en annexe 12.

Tableau 22 : sensibilité des cultures aux variations de leur prix de vente

Cultures très sensibles	Cultures moyennement sensibles	Cultures peu sensibles
Betterave rouge, maïs grain, céréales secondaires	Blé, tournesol, féverole, soja	Luzerne, colza

C'est la proportion de chaque culture dans la rotation qui conditionnera l'impact des variations de prix sur les marges de la rotation.

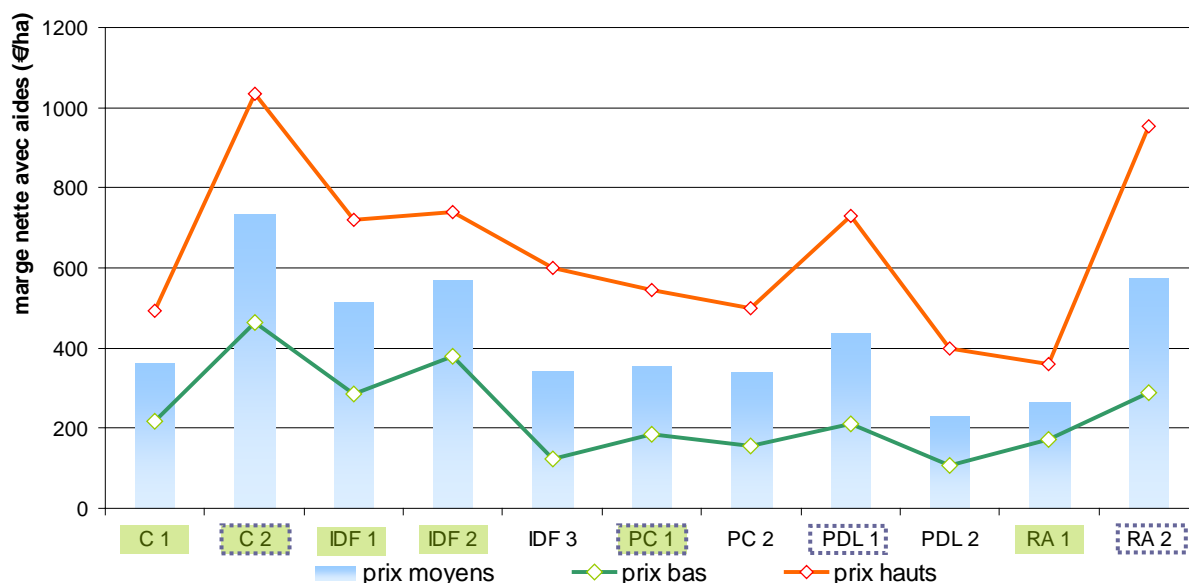


Figure 24 : impact des variations de prix sur les marges nettes à l'échelle de la rotation

Ainsi, les rotations de type « protéagineux – blé – maïs grain » ont une réponse franche aux variations de prix (figure 24). A l'inverse, les rotations dans lesquelles on retrouve beaucoup de luzerne se montrent plus stables. Le cas particulier de la rotation Centre 2 s'explique par la présence de betterave rouge, une culture extrêmement sensible, à hauteur de 12 % des surfaces.

5.1.2.5. Impact des variations de rendement sur la rentabilité des rotations

Sur le même principe que pour les variations de prix, nous avons analysé l'impact des variations de rendements sur la rentabilité des rotations. Des rendements bas, moyens et hauts pour chaque culture ont été définis au préalable. Ces variations dépendent de nombreux facteurs : espèce, type de sol, précédent cultural, présence d'irrigation, maîtrise technique, etc. Pour les mêmes raisons qu'avec les prix, l'impact des variations de rendements sur la rentabilité dépend évidemment de la variabilité des rendements mais aussi des prix de vente considérés. Pour illustrer cela, prenons l'exemple du blé et du colza dans la rotation IDF 2 (tableau 23).

Tableau 23 : comparaison de la sensibilité du colza et du blé aux variations de rendements

	Prix moyen	Rendement	Gain de rendement	Produit brut	Impact du gain de rendement sur le PB
Colza	450 €/t	moyen : 1.8 t/ha	$\Delta 1 = + 0.7 \text{ t/ha}$	810 €/ha	$\Delta 2 = + 315 \text{ €/ha}$
		haut : 2.5 t/ha		1125 €/ha	
Blé de colza	290 €/t	moyen : 4.3 t/ha	$\Delta 1 = + 0.7 \text{ t/ha}$	1247 €/ha	$\Delta 2 = + 203 \text{ €/ha}$
		haut : 5 t/ha		1450 €/ha	

En appliquant cette méthode à chaque culture (utilisation de la moyenne des cas-types pour les rendements et les prix de vente), on peut établir un classement des cultures en fonction de leur sensibilité aux variations de rendement (tableau 24). Voir l'annexe 12 pour plus de détails.

Tableau 24 : sensibilité des cultures aux variations de rendements

Cultures très sensibles	Cultures moyennement sensibles	Cultures peu sensibles
Betterave rouge	Colza, maïs grain, féverole, soja, blé	Céréales secondaires, tournesol, Luzerne

La variation des rendements de la betterave rouge entraînera des évolutions très importantes sur la rentabilité de la rotation. A l'inverse, la luzerne ou le tournesol permettent de stabiliser la réussite économique des rotations malgré des variations de rendement.

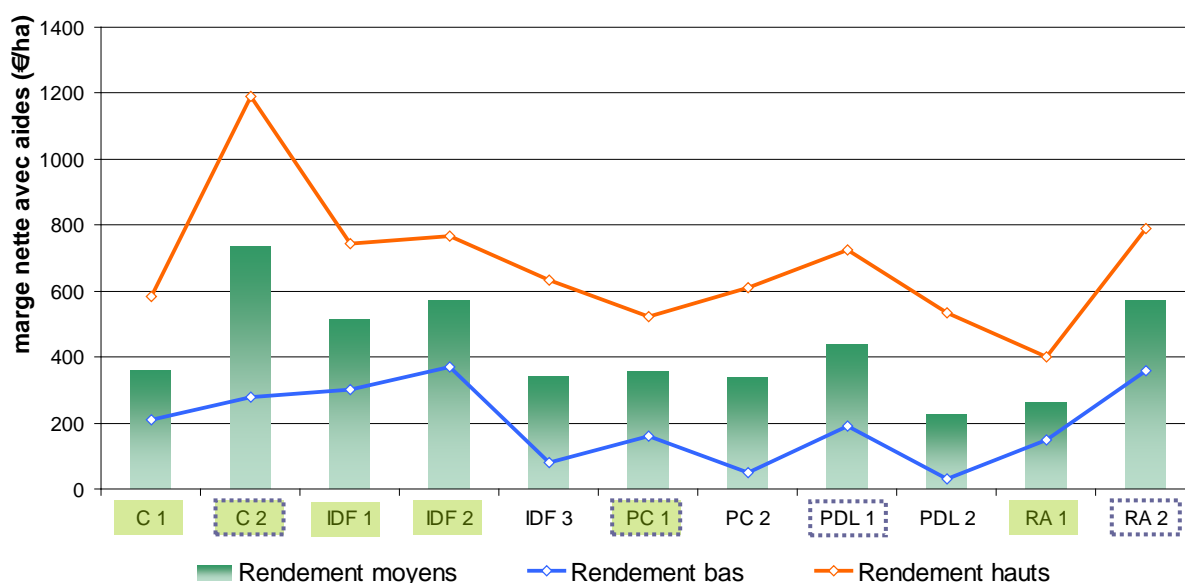


Figure 25 : impact des variations de rendements sur les marges nettes

Comme prévu, l'impact des variations de rendements sur la rotation C2 est très important à cause de la présence de betterave rouge (figure 25).

Les marges des rotations courtes dont la proportion en maïs et protéagineux est élevée sont plutôt sensibles aux variations de rendements. A l'inverse, la luzerne permet de réduire les impacts des variations de rendement sur la rentabilité des rotations longues.

5.1.2.6. Impact de la variation du prix du carburant et des engrais

Pour cette dernière simulation, nous évaluerons l'impact du niveau de prix de certains intrants. Nous partirons d'un constat : l'augmentation du prix de l'énergie est suivie par une augmentation du prix des engrais azotés de synthèse (puisque leur coût de production augmente). Les agriculteurs conventionnels s'orientent alors vers des engrais organiques, dont les prix augmentent à leur tour à cause de l'équilibre de l'offre et de la demande.

L'AGRESTE (2010) présente un prix du fioul agricole de 0,577 €/litre en moyenne pour l'année 2009 et un maximum de 1 €/litre durant les cinq dernières années (prix atteint durant l'été 2008). En conséquence, nous avons retenu un prix du carburant moyen à 0,5 €/litre et un prix élevé à 1 €/litre.

Le prix des engrais organiques est plus difficile à appréhender. En contexte moyen, nous utiliserons les prix définis avec les conseillers régionaux. Bien que conscients que les différents types d'engrais organiques ne subissent pas les mêmes variations de prix, nous retiendrons par défaut un doublement lors du passage des prix moyens à hauts.

Dans un premier temps, nous réaliserons une analyse distincte entre carburant et engrais.

La luzerne présente le double avantage de participer à la lutte contre l'enherbement et de restituer au sol d'importantes quantités d'azote. Les charges de mécanisation liées à l'épandage et au désherbage sont donc réduites sur les cultures qui suivent. De plus, lorsqu'elle est effectuée par entreprise, la récolte de luzerne n'est pas comprise dans les consommations de carburant pour l'agriculteur. Par conséquent, la consommation de carburant est plus élevée dans les systèmes sans luzerne.

Toutefois, le graphique 26 laisse apparaître quelques exceptions :

- dans la rotation IDF 1, la luzerne est valorisée en foin et récoltée par l'agriculteur lui-même. Les conséquences sur la consommation de carburant moyenne sont importantes, puisque les multiples opérations de récolte consomment presque 130 litres/ha dans ce cas. Cela influence fortement le reste de la rotation.
- dans les rotations de Rhône-Alpes, la faible consommation de carburant est liée au matériel (tracteurs moins puissants car faible surface) mais aussi au fait que l'ensemble des récoltes est effectué par entreprise (choix stratégique). Attention, nos analyses ne prennent pas en compte les répercussions d'une hausse du prix du carburant sur le prix des travaux effectués par entreprise.

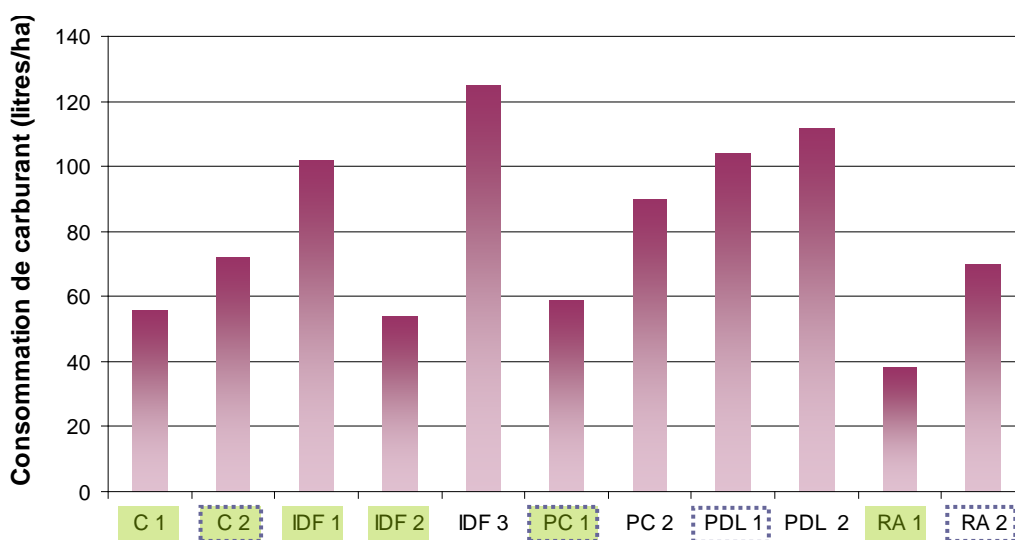


Figure 26 : consommation de carburant (hors entreprises)

Les dépenses concernant les engrais organiques varient selon les quantités d'azote apportées et le coût de l'unité d'azote. Les facteurs à prendre en compte seront le type de rotation, le précédent cultural, le type d'engrais (et donc leur disponibilité, la présence d'élevage), etc.

De manière générale, les quantités d'azote apportées sont plus importantes dans les rotations courtes sans luzerne (tableau 25). D'une part la luzerne ne nécessite aucun apport puisque c'est une légumineuse, d'autre part elle restitue de l'azote pour les cultures suivantes. Par exemple, aucun blé de luzerne n'est fertilisé (qu'il s'agisse des cas-types ou des enquêtes RotAB).

Le coût de l'unité d'azote diffère selon le produit utilisé. On peut donc considérer que cela dépend du contexte régional (disponibilité des engrais organiques).

Au final, les coûts liés à la fertilisation les plus élevés se retrouvent dans des rotations courtes sans luzerne.

Tableau 25 : les dépenses liées à l'achat d'engrais organiques

	C 1	C 2	IDF 1	IDF 2	IDF 3	PC 1	PC 2	PDL 1	PDL 2	RA 1	RA 2
quantité N apportée (kg/ha)	21	47	35	24	144	40	60	83	35	23	61
coût moyen de l'unité N (€/kg)	3.0	1.9	1.1	2.0	1.1	1.1	1.1	1.4	1.4	0.9	2.0
coût moyen (€/ha)	62	87	37	49	153	45	68	116	49	20*	122

* le coût réel est de 72 €/ha, mais 52 € concernent l'apport de potasse sur luzerne.

En conclusion, les rotations courtes sans luzerne sont plus dépendantes aux intrants (carburant hors entreprises et azote). Lorsque le prix des intrants augmente, les conséquences sont logiquement plus lourdes sur la marge des rotations sans luzerne. La figure 27 illustre parfaitement ce constat puisque les écarts de marge lorsque le prix des intrants augmente sont beaucoup plus importants pour les rotations courtes sans luzerne.

Dans cette simulation, les différences entre rotations irriguées et non irriguées semblent trop maigres pour être exploitées.

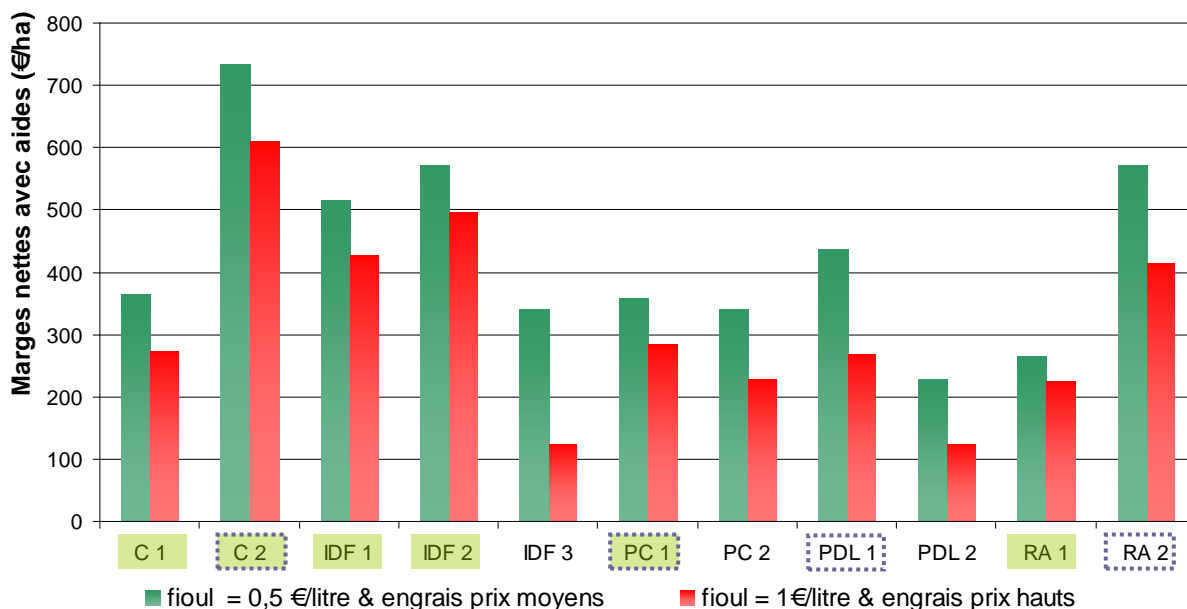


Figure 27 : impact de la variation du prix des intrants sur les marges nettes

A retenir - conclusion des résultats économiques

A l'échelle de la rotation, les performances économiques sont en lien avec la conception même de la rotation : le choix des cultures sera un facteur essentiel (notion d'effet « précédent » cultural). Toutefois, la conclusion quant à la rentabilité des rotations longues ou courtes n'est pas si évidente. Le contexte pédoclimatique et le contexte régional y jouent un rôle plus que déterminant.

Le succès d'une rotation longue à base de luzerne et de céréales à paille est assuré dans un contexte pédoclimatique propice. A l'inverse, un potentiel de rendement plus faible peut entraîner des résultats moyens. Dans ce cas, la diversification des productions semble une solution intéressante. Dans les enquêtes, cette notion de diversité des cultures apparaît d'ailleurs comme un facteur de réduction des risques. Les rotations longues sont également un gage de sécurité puisqu'elles sont moins sensibles aux variations de leur environnement (marché, rendements, prix des intrants).

En rotation courte sans luzerne, l'enjeu est tout aussi important. Sur des sols à bon potentiel avec possibilité d'irriguer, l'insertion de cultures rentables est profitable et leur délai de retour rapide apporte un avantage certain. Au contraire, le succès s'avère parfois difficile à atteindre avec des rotations courtes non irriguées en potentiel moyen. Ici aussi, la diversification des productions est une piste à étudier pour compenser la faible rentabilité de certaines cultures indispensables pour assurer une gestion agronomique correcte.

Les conclusions parfois difficiles à exprimer sont le signe que cette première approche doit être approfondie. Aussi, dans le but de confirmer les tendances exposées dans ce rapport, il semble nécessaire que des études équivalentes soient réalisées dans d'autres régions.

5.1.3. Temps de travail

Les enquêtes mettent en évidence l'intérêt porté par les agriculteurs à la gestion du temps de travail. Cette donnée est fortement dépendante du choix des cultures.

La figure 28 présente la quantité de travail que doit fournir l'agriculteur pour chaque rotation. Le travail effectué par les entreprises et le travail « hors champ » n'est pas comptabilisé.

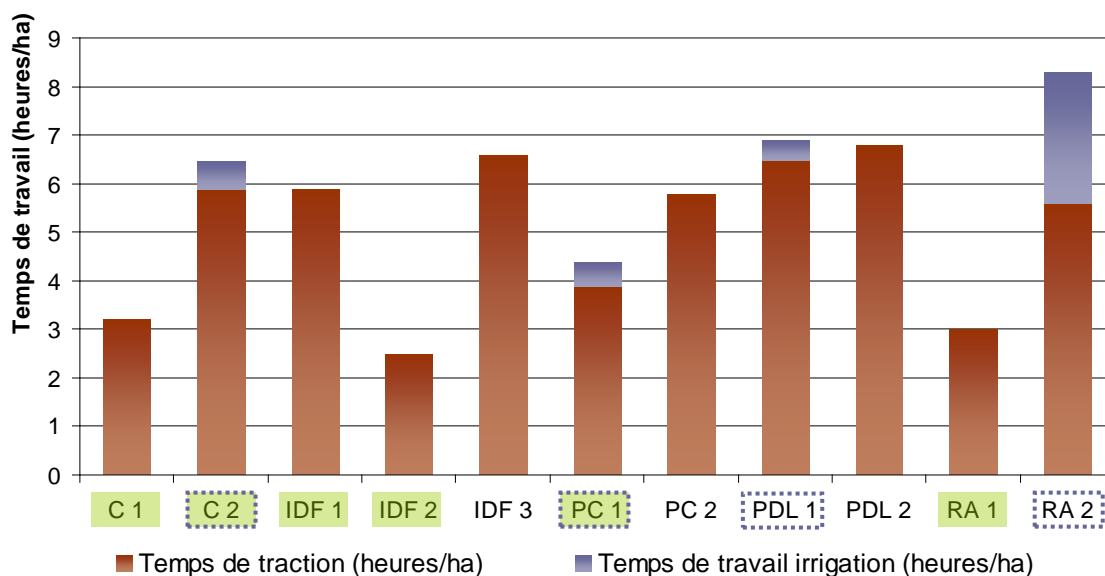


Figure 28 : temps de travail moyen (hors ETA)

Globalement, les rotations à base de luzerne demandent moins de main d'oeuvre. L'explication est simple : la préparation du sol avant l'implantation d'une luzerne est très réduite. En général, un léger travail du sol et le semis suffisent. D'ailleurs, l'absence de labour avant le semis d'une luzerne est fréquent (donnée issue des enquêtes). Lorsque la récolte est effectuée par entreprise, cela libère beaucoup de temps pour l'agriculteur.

La luzerne de la rotation IDF 1 est récoltée par l'agriculteur et non par entreprise, ce qui explique le temps de traction élevé par rapport aux autres rotations longues.

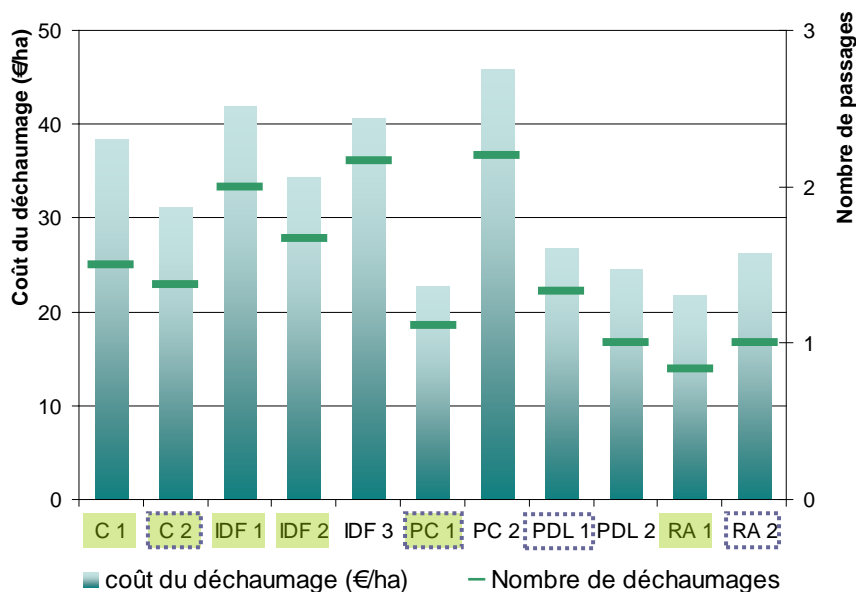
La rotation Centre 2 fait également office d'exception, bien que la luzerne ne soit pas récoltée par l'agriculteur. Le temps de travail élevé tient majoritairement à la présence de betterave rouge dans la rotation, culture qui nécessite plus de 15 heures de traction par hectare. Notons cependant que le désherbage manuel, indispensable sur cette culture, n'a pas pu être pris en compte puisqu'il est effectué par des salariés temporaires (50 à 150 heures de binage manuel sur le rang).

Enfin, l'irrigation présente un surcroît de travail allant jusqu'à plus de deux heures par hectare (RA 2). La gestion sera d'autant plus difficile dans ce cas que l'irrigation est concentrée pendant les deux mois d'été. Bien que nous ne pouvions l'aborder, cette notion de « pointe de travail » est primordiale.

5.1.4. La gestion de l'enherbement par le désherbage mécanique

Les enquêtes ont également permis de mettre en valeur un aspect essentiel des systèmes céréaliers biologiques, la gestion des adventices. Il semble donc important d'aborder le sujet.

L'objectif initial du **déchaumage** est d'assurer le mélange des résidus de culture avec la terre pour amorcer leur décomposition. Pourtant, les enquêtes révèlent que sa fonction la plus reconnue est la lutte contre les adventices. En général, le premier passage fait office de faux semis. Cela permet de faire germer les graines d'adventices. Elles seront détruites par les passages suivants, servant à leur tour de faux semis. Cela implique que la gestion du travail du sol est une condition de réussite des rotations courtes sans luzerne dans lesquelles l'enherbement peut poser plus de problèmes.



Le graphique 29 ne laisse entrevoir aucune tendance notable. Le déchaumage ne semble pas en lien direct avec la présence de luzerne. Pourtant, quelques différences entre régions se dessinent. Pour les comprendre, il est nécessaire d'étudier l'utilisation des outils de désherbage mécanique.

Figure 29 : nombre de passages et coût du déchaumage

La figure 30 présente le cumul du nombre de passages et les coûts liés à l'utilisation des outils de désherbage mécanique en culture (herse étrille, bineuse et houe rotative). Ici aussi, la relation entre désherbage mécanique et type de rotation est difficile à cerner. On note néanmoins que les régions pour lesquelles l'usage du déchaumage était le plus faible (PDL et RA), correspondent à celles où l'utilisation d'outils de désherbage mécanique semble la plus élevée. Cela pourrait traduire l'existence d'une complémentarité entre déchaumage et désherbage mécanique.

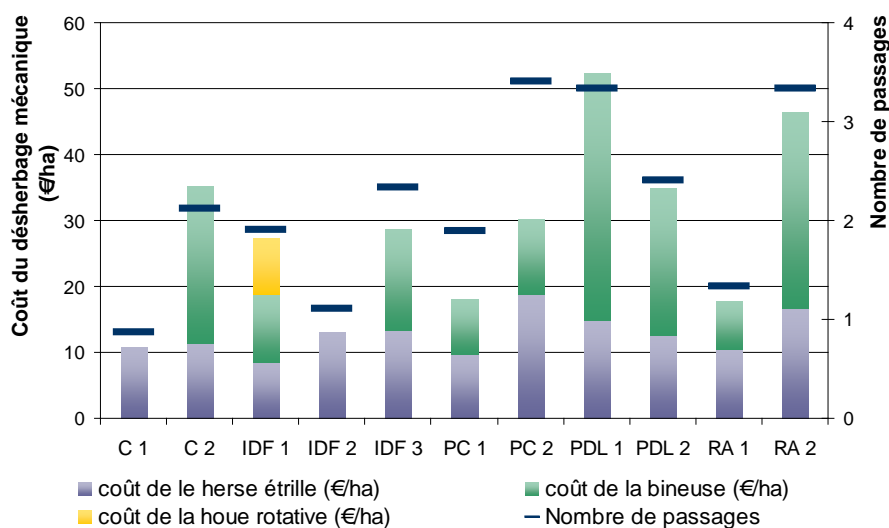


Figure 30 : nombre de passages et coût du désherbage mécanique

Le tableau 26 présente le cumul du nombre de passage et des coûts de chaque opération relative au désherbage hors labour (déchaumage, faux semis et désherbage mécanique). Sous cet angle, la différence est notable. Avec un nombre de passages moyen plus faible, les rotations longues avec luzerne semblent nettement favorisées. Cela renforce l'idée que la luzerne permet de réduire les charges de mécanisation liées au désherbage. Notons que le nombre de passages élevé de la rotation Centre 2 est dû à la présence de betterave rouge et de maïs grain en proportions importantes.

Tableau 26 : nombre de passages et coût de l'ensemble des opérations participant à la gestion des adventices (hors labour)

	C 1	C 2	IDF 1	IDF 2	IDF 3	PC 1	PC 2	PDL 1	PDL 2	RA 1	RA 2
Nombre de passages	2.4	4.1	3.9	2.9	4.8	3.7	6.6	6.0	5.0	2.7	6.3
coût (€/ha)	49.4	66.3	69.2	47.5	69.5	40.9	76.1	79.1	59.6	39.7	72.6

Dans le but d'apporter des références en termes de désherbage mécanique, le tableau 27 reprend les coûts moyens pour les trois principaux outils de désherbage mécanique. Le coût moyen d'un passage de herse étrille est de 10 €/ha alors que celui d'une bineuse est de 21 €/ha. Ce surcoût est généralement bien accepté étant donné la bonne efficacité obtenue avec une bineuse. Dans l'unique exploitation qui utilise une houe rotative, le coût du passage est de 15 €/ha. Ces prix relativement faibles montrent que le coût des outils de désherbage mécanique ne doit pas être un frein à leur utilisation.

Tableau 27 : coût moyen des outils de désherbage mécanique

	Centre 1	Centre 2	IDF 1	IDF 2	IDF 3	PC 1	PDL	RA
Coût moyen herse étrille (€/passage)	12.5	11.4	9.9	11.8	9.0	6.7	9.0	12.6
Coût moyen bineuse (€/passage)		21.0	21.0	31.4	17.6	18.7	22.4	14.8
Coût moyen écroûteuse (€/passage)			15.0					

Alors que la bineuse offre une meilleure efficacité que la herse étrille, les débits de chantier sont réduits. Cela pose question lors des réflexions sur la nécessité du binage des céréales à paille. Le tableau 28 présente les temps de travaux nécessaires au désherbage sur les céréales à paille. Deux modalités sont présentées : stratégie avec ou sans binage. Le binage des céréales à paille demande un investissement personnel plus important. Notons qu'il existe des systèmes de guidage par caméra qui permettent le passage d'une bineuse dans des céréales à paille à faible écartement avec des vitesses équivalentes à celle d'un passage de herse étrille. Cependant, cela nécessite un investissement financier conséquent.

Tableau 28 : temps consacré au désherbage mécanique sur les céréales à paille (minutes/ha)

	Centre 1	Centre 2	IDF 1	IDF 2	IDF 3	PC	PDL	RA
sans bineuse	8'30	13'	9'40	8'30		20'		32'
avec bineuse			27'		40'		29'	

Le choix d'investir dans le binage des céréales à paille devra prendre en compte ces besoins supplémentaires, la difficulté étant de trouver un compromis entre efficacité et temps de travail.

A retenir – le temps de travail

La gestion du temps de travail repose en partie sur le choix des cultures de la rotation.

L'insertion de luzerne dans la rotation permet de dégager du temps. Pour cela, il est nécessaire que la récolte soit effectuée par une entreprise.

A l'inverse, les rotations courtes demandent plus d'investissement, puisque des passages supplémentaires seront nécessaires pour contrôler l'enherbement de façon correcte. Le binage des céréales à paille, malgré un débit de chantier plus faible que le hersage, s'avère parfois indispensable. A cela s'ajoutent les passages supplémentaires liés à la fertilisation des cultures.

L'irrigation est un aspect pour lequel la prise en compte du temps de travail est indispensable. Il faut en particulier raisonner par période, en gardant à l'esprit que les besoins en eau se présentent généralement à des moments de l'année déjà chargés.

5.2. Résultats agronomiques

Dans les systèmes céréaliers biologiques, la gestion des adventices et de la fertilité est essentielle. Dans notre cas, ces deux points ont été évalués à dire d'expert avec l'appui de quelques indicateurs. Les calculs sont inspirés des indicateurs utilisés dans le cadre du programme RotAB, dont les méthodes de calcul sont disponibles en annexe 5. Les bilans de minéraux (phosphore et potasse) ont été calculés à partir de Systerre (cf. annexe 9). Malheureusement, le bilan azoté n'a pas été réalisé faute de données robustes concernant la fixation d'azote atmosphérique par les légumineuses. L'évaluation à dire d'expert adaptée à chaque cas-type est présentée en annexe 13.

5.2.1. La gestion des adventices dans la rotation

Tableau 29 : la maîtrise de l'enherbement dans la rotation

	C1	C2	IDF 1	IDF 2	IDF 3	PC 1	PC 2	PDL 1	PDL 2	RA 1	RA 2
Présence de luzerne	oui	oui	oui	oui	non	oui	Non	non	non	oui	non
Durée de présence de la luzerne (en années)	3	2	2	3	-	3	-	-	-	3	-
Diversité des cultures	83%	71%	89%	71%	83%	100%	80%	100%	80%	75%	100%
binage des céréales à paille	non	non	oui	non	oui	non	Non	oui	oui	non	non
% de cultures binées (hors luzerne)	0%	50%	70%	33%	66%	33%	20%	100%	80%	33%	66%
% de cultures de printemps (hors luzerne)	20%	33%	28%	16%	33%	33%	20%	33%	40%	33%	66%

Grâce à ses fauches régulières et son pouvoir couvrant naturel, la luzerne est très concurrentielle vis-à-vis des adventices. Cette plante fourragère est très appréciée en agriculture biologique (sous réserve que son insertion soit possible, selon les caractéristiques du sol et la présence de débouché). Elle se montre particulièrement efficace contre le chardon.

Par conséquent, des efforts plus importants doivent être déployés dans les rotations sans luzerne (tableau 29). Les points importants sont les suivants :

- la **maîtrise technique** des implantations, du travail du sol et du désherbage mécanique est essentielle. C'est d'autant plus vrai que seul le travail du sol va permettre la gestion des vivaces (l'alternance des cultures joue relativement peu) ;
- les opérations culturales liées au désherbage sont souvent plus nombreuses ;
- le **binage** des céréales à paille peut s'avérer utile, voire indispensable. C'est la raison pour laquelle on le rencontre plus fréquemment dans les rotations sans luzerne (constat confirmé par les enquêtes) ;
- le respect d'une bonne **alternance des cultures** (espèces et saisonnalité) permettra de limiter au mieux les risques. Cela pourrait expliquer que les rotations courtes présentent une diversité des cultures et une proportion de cultures de printemps plus élevées. Ces dernières cassent les cycles des adventices, permettent de pratiquer de nombreux faux semis et offrent généralement des possibilités de binage intéressantes.

Notons que dans la rotation « soja – blé – maïs grain » de la région Rhône-Alpes (RA 2), les agriculteurs sont parfois contraints de réinstaurer quelques années de luzerne tant l'enherbement et la compaction des sols deviennent un problème.

A l'inverse de la luzerne, on ne remarque aucune différence notable dans la gestion de l'enherbement entre les rotations irriguées et non irriguées. Cependant, il est important de garder à l'esprit que si l'irrigation favorise la culture en place, elle favorise également les adventices présentes.

5.2.2. La gestion de la fertilité des parcelles

Grâce à ses restitutions d'azote au sol, la luzerne apporte une certaine autonomie à la rotation. Cependant, elle ne permet pas de satisfaire les besoins de toutes les cultures qui lui succède. Le recours à des « relais azotés » comme la féverole ou des jachères de légumineuses reste indispensable.

Pourtant, cette plante présente un inconvénient de taille : avec des exportations de potasse de l'ordre de 26 kg par tonne de matière sèche (COMIFER, 2007), elle a tendance à épuiser les réserves du sol.

Tableau 30 : la gestion de la fertilité par la rotation

	C1	C2	IDF 1	IDF 2	IDF 3	PC 1	PC 2	PDL 1	PDL 2	RA 1	RA 2
Présence de luzerne	oui	oui	oui	oui	non	oui	Non	non	non	oui	non
% de légumineuses (hors luzerne)	20%	16%	25%	16%	33%	16%	20%	33%	40%	0%	33%
Quantité moyenne d'azote apportée par hectare (kg)	21	46.8	35.4	24	144	40	60	83.3	58.3	22.6	61.6
Bilan P	-8	-9	-25	-37	83	-16	4	35	7	-13	-11
Bilan K	-113	-40	-24	-50	95	-75	-7	44	-11	-56	-15

Le cas-type Centre 1 illustre ce propos : les seuls engrais apportés dans la rotation sont des farines de viande, très pauvres en potasse. L'impact de la rotation sur la réserve du sol est donc particulièrement important. Dans certains cas, il serait nécessaire d'apporter des produits plus appropriés (par exemple vinasses, qui apportent 55 unités de K₂O par tonne de produit).

Point sur les bilans des minéraux

S'il est vrai qu'un bilan P ou K fortement négatif pose question, ces résultats doivent être nuancés : il est nécessaire de prendre en compte les niveaux de réserve du sol, qui ne peuvent être appréhendés qu'avec des analyses de terre. Autrement dit, un bilan très négatif n'est pas toujours synonyme de carence ou de perte de rendement.

Dans le cas d'un raisonnement sur le long terme, il faudra envisager l'utilisation d'engrais organiques dont la composition est adaptée à chaque situation.

A l'opposé des rotations longues, les rotations courtes sont plus dépendantes de l'azote apporté par les engrais organiques, mais moins consommatrices de potasse (tableau 30). Les solutions qui s'offrent à elles sont assez restreintes :

- augmentation du pourcentage de légumineuses dans la rotation ;
- augmentation des quantités d'azote apportées.

Cette stratégie est d'autant plus risquée que l'efficacité des engrais organiques dépend des conditions météorologiques et du type de produit apporté (l'azote organique n'est pas directement assimilable par les plantes et nécessite une minéralisation, dont la vitesse est variable d'un produit à l'autre).

Concernant l'irrigation, il est une fois de plus difficile de conclure, mais il semble logique que des objectifs de rendements à la hausse demandent une adaptation conséquente de la fertilisation.

A retenir – rotation et agronomie

Sur le plan purement agronomique, la durabilité des rotations courtes sans luzerne peut être remise en question. L'absence de luzerne présente des contraintes diverses :

- les besoins en désherbage sont plus importants. Une bonne maîtrise technique sera nécessaire, en particulier pour contenir le développement des vivaces ;
- la moindre autonomie azotée oblige à intégrer plus de protéagineux, parfois peu rentables selon les conditions ;
- la dépendance élevée vis-à-vis des engrais organiques soulève le problème de l'approvisionnement parfois difficile et des coûts élevés.

Malgré leurs avantages indéniables, les rotations à base de luzerne requièrent une attention particulière sur les réserves de potasse dans le sol.

5.3. Impacts environnementaux des rotations

L'approche environnementale des rotations peut se faire selon deux critères : la consommation d'énergie non renouvelable et l'impact sur le changement climatique. Pour cela, nous baserons notre analyse sur deux indicateurs : la consommation en énergie primaire et les émissions de gaz à effet de serre (GES).

Les références utilisées sont en partie issues des publications du projet CASDAR : «Gaz à Effet de Serre et Stockage de Carbone en exploitations agricoles». Le guide méthodologique rédigé à cette occasion (GES'TIM) offre une compilation de l'ensemble des données nécessaires à une estimation des émissions de GES par les activités agricoles (Tailleur *et al.*, 2009). De nombreux facteurs de production sont abordés : carburant, engrais, semences, machinisme, etc. Reconnu par l'ADEME et le Ministère de l'Agriculture, il constitue des références récentes et adaptées aux conditions de production françaises.

5.3.1. Impact sur la consommation d'énergie primaire

L'énergie est une composante importante de la compétitivité et de la durabilité de l'agriculture française. Les enjeux pour ce secteur sont doubles :

- d'un côté, les dépenses énergétiques influencent la viabilité économique des exploitations. Elles représentent en moyenne 8,7 % des charges opérationnelles (Saadi, 2007). Sur le long terme, une meilleure autonomie permettra de faire face à un contexte où les prix sont très variables.
- d'autre part, les efforts engagés contribueront à la réduction des consommations et des émissions de gaz à effet de serre. C'est l'un des objectifs du Plan de Performance Energétique (Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche, 2009b).

Il s'agit clairement de s'approcher d'un modèle agricole plus durable.

L'indicateur de consommation d'énergie non renouvelable (pétrole, charbon, uranium) est exprimé en MJ/ha. Il mesure la quantité d'énergie nécessaire pour produire. De manière générale, on distingue deux méthodes de calcul :

- l'énergie **utile** représente l'énergie réellement consommée par l'agriculteur. On peut l'assimiler à la consommation au champ (carburant et électricité) ;
- l'énergie **primaire** intègre à l'énergie utile le cumul des consommations d'énergie nécessaires à la production et la distribution des facteurs de production. Par exemple, l'énergie primaire d'un litre de fioul comptabilise la quantité d'énergie contenue dans un litre et l'énergie qu'il a fallu pour l'extraction, le raffinage et le transport.

Le calcul de l'énergie primaire se fait selon une approche Cycle de Vie. On prendra en compte l'énergie directement consommée par le système de production ainsi que le cumul de l'énergie nécessaire à la production et la mise à disposition des intrants (engrais, semences, produits phytosanitaires), du matériel agricole et des ressources énergétiques (carburant, électricité). Les bâtiments ne sont pas comptabilisés. C'est cet indicateur que nous utiliserons.

Comme le montre la figure 31, les consommations d'énergie primaire sont très variables d'une exploitation à l'autre. L'étude individuelle de chaque facteur de production nous permettra de comprendre ces résultats.

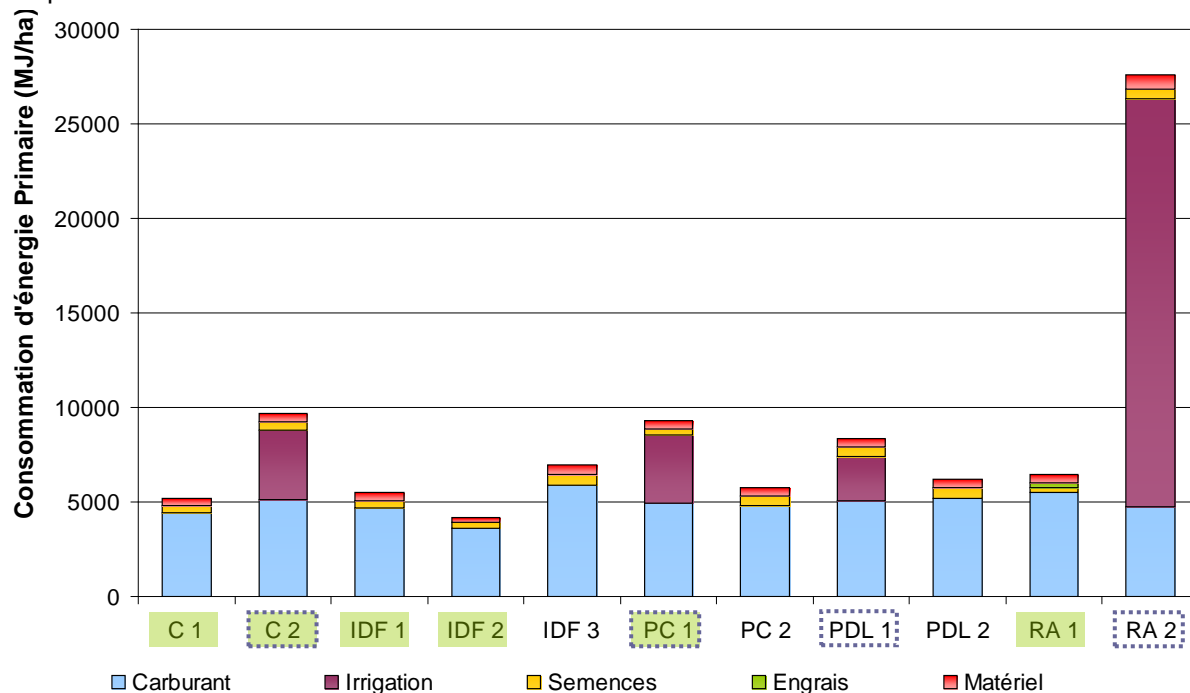


Figure 31 : consommation d'énergie primaire, détail des postes

Semences : l'impact de la production de semences est relativement faible. Par exemple, 1 kg de semence de blé consomme 3,46 MJ d'énergie primaire (contre 45 MJ pour 1 litre de fioul).

Matériel : la consommation d'énergie primaire nécessaire à la production d'un engin agricole est répartie sur toute sa durée d'utilisation (cf. annexe 9), ce qui explique de faibles valeurs lorsqu'elle est ramenée à l'année.

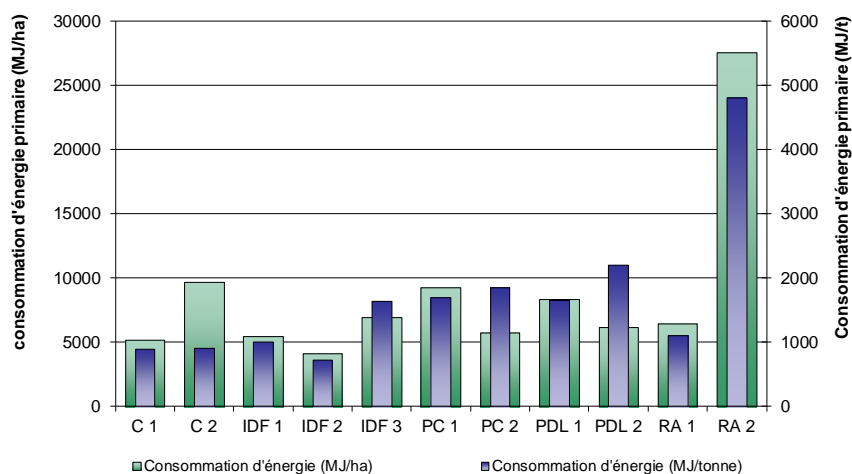
Engrais : les engrais organiques possèdent le statut de co-produits. Par exemple, le fumier est un co-produit d'un atelier d'élevage. Utilisés en tant qu'intrants dans notre cas, aucune consommation d'énergie ne leur est associée : celle-ci est entièrement attribuée à l'activité dont ils sont les « déchets ». Notons que la rotation RA 1 utilise un engrais potassique autorisé en agriculture biologique.

Carburant : lorsqu'il n'y a pas d'irrigation, la consommation de carburant est responsable de la quasi-totalité des consommations d'énergie primaire. L'extraction, le raffinage et le transport du fioul sont très énergivores (1 litre de fioul = 45 MJ d'énergie primaire). Dans le cas des analyses environnementales, la consommation de fioul par les entreprises de travaux agricoles est comptabilisée. La luzerne ne permet donc pas d'économie puisque les récoltes multiples (3 par an en moyenne) consomment beaucoup de carburant.

Irrigation : un forfait de 1 kWh d'électricité par mètre cube d'eau, soit 11,59 MJ, a été établi par Arvalis – Institut du végétal sur la base de données de consommation. Ce forfait comprend la quantité d'électricité nécessaire à l'acheminement de l'eau de la source jusqu'à la parcelle. Dans ce cas, la quantité d'eau apportée conditionne directement la consommation d'énergie :

- dans la rotation PDL 1, le maïs irrigué est présent sur un tiers des surfaces. Toutefois, l'impact est réduit du fait de la faible quantité d'eau apportée (600 m³/ha dans ce cas, = 60 mm).
- pour PC 1 et C1, les cultures irriguées sont insérées dans des rotations longues, ce qui implique de faibles proportions dans l'assolement et donc un impact mineur.
- la rotation RA 2 est composée d'un tiers de maïs grain et d'un tiers de soja. Pour permettre aux cultures de passer des étés secs, les quantités d'eau apportées sur ces cultures sont très élevées (2800 m³/ha en moyenne), d'où un impact de l'irrigation très important.

Dans le but de montrer que le changement d'unité fonctionnelle modifie le point de vue, nous avons calculé les consommations d'énergie à la tonne de matière brute produite (figure 32). Les



résultats sont parlants : alors que l'unité par hectare est discriminante sur le facteur irrigation, l'expression des résultats à la tonne favorise nettement les systèmes avec luzerne. Cette expression des résultats à la tonne illustre bien l'importance qu'il faut accorder à l'unité fonctionnelle pour interpréter les résultats.

Figure 32 : comparaison des consommations d'énergie primaire à l'hectare et à la tonne

A retenir – la consommation d'énergie primaire

Dans l'étude des impacts environnementaux d'un système selon l'approche des cycles de vie, les unités fonctionnelles sont essentielles. Elles traduisent les différentes fonctions d'un système. Ainsi, l'hectare reflète la notion d'entretien du territoire alors que la tonne renvoie à la notion de production. Il est donc préférable d'utiliser plusieurs unités.

A l'échelle de la rotation, il est difficile de définir une unité commune aux différentes cultures et il n'existe pas de méthode uniforme pour le calcul des coûts environnementaux.

Dans un raisonnement à l'hectare, les différences entre rotations courtes et rotations longues sont maigres. La prise en compte des consommations de carburant par les entreprises montre en effet que les récoltes de luzerne sont gourmandes en énergie. A l'échelle de la rotation, cela compense la réduction du nombre de passages liés à la gestion de l'enherbement et à la fertilisation.

Quelque soit l'unité fonctionnelle utilisée, la présence d'irrigation entraîne des augmentations importantes en termes de consommation d'énergie.

Point sur la consommation d'énergie primaire en agriculture conventionnelle

Une étude menée par Arvalis – Institut du végétal en 2008 auprès de 26 exploitations a permis d'obtenir des ordres de grandeur des consommations d'énergie primaire des grandes cultures conduites en agriculture conventionnelle. On y retrouve blé tendre (27%), blé dur (20%), colza (20%), maïs grain (14%) et orge de printemps (14%). La moitié des blés tendre et 85% du maïs grain sont irrigués.

La consommation d'énergie primaire pour les cultures irriguées s'étend de 12 000 à 72 000 MJ/ha et 1 600 à 6 000 MJ/tonne. Contrairement à l'agriculture biologique, la fertilisation représente une part importante : 23 à 66%, conséquence de la consommation d'énergie pour la production des engrais minéraux. L'irrigation est également très variable et représente 14 à 54 % du total selon la culture considérée.

Pour les cultures non irriguées, la consommation d'énergie est inférieure à celle des cultures irriguées : de 7 000 à 20 000 MJ/ha et 1 200 à 11 000 MJ/tonne. L'importance de la fertilisation est de taille, avec 58 à 75 % du total.

5.3.2. Rendement énergétique

Le calcul du rendement énergétique représente l'efficacité énergétique du système de production. Il s'agit du rapport entre la consommation et la production d'énergie. Il s'exprime en MJ/MJ. Dans notre cas, les résultats se situent entre des rendements de 5 à 25 MJ produit / MJ consommé (figure 33). Cette forte variabilité s'explique par la présence de luzerne. En effet, de par ses rendements très élevés, la luzerne produit beaucoup d'énergie. Le rendement énergétique des rotations à base de luzerne est donc meilleur que celui des rotations sans luzerne. Les importantes consommations d'énergie nécessaires à l'irrigation sont également un facteur de variabilité.

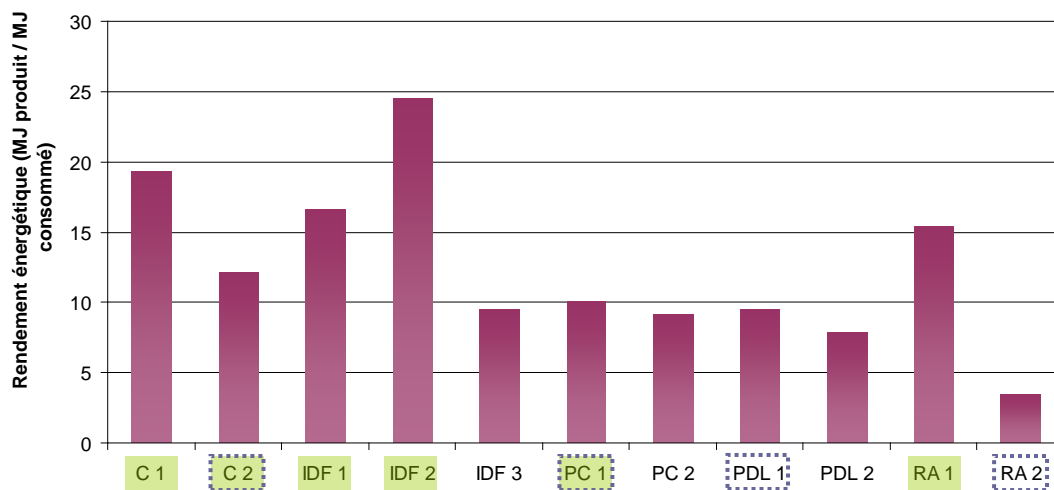


Figure 33 : rendement énergétique des rotations

Attention, ces résultats ne doivent être considérés que comme des ordres de grandeur. En effet, la comparaison de rotations présente un biais dans le sens où les productions n'auront pas la même utilisation (exemple, le blé est directement utilisé pour l'homme, la luzerne pour les animaux).

5.3.3. Emissions de gaz à effet de serre

Comme toute activité de production, l'agriculture possède un impact sur le changement climatique. En 2009, elle représentait 21 % des émissions de GES (CITEPA, 2010), avec une contribution égale entre l'élevage et les cultures. Bien que des objectifs de réduction des émissions soient fixés (- 20 % d'ici 2020), il n'existe aucune exigence réglementaire permettant d'arriver à cette fin. Toutefois, l'affichage environnemental des produits de grande consommation d'ici 2011 (décision prise dans le cadre de la Loi Grenelle 2) permettra aux consommateurs d'intégrer les impacts environnementaux dans leurs critères d'achat (ADEME, 2009). Cela devrait encourager les efforts des filières alimentaires pour réduire leurs émissions.

Le calcul que nous avons utilisé pour l'évaluation de cet impact correspond au cumul des émissions de CO₂, CH₄ et N₂O. Leur pouvoir de réchauffement étant différent à cause de leurs caractéristiques, il existe des équivalences :

- 1 g de CH₄ = 23 g équivalents de CO₂ ;
- 1 g de N₂O = 296 g équivalents CO₂.

Cela signifie que l'effet d'un gramme de N₂O sur le réchauffement climatique sera 296 fois plus important que celui d'un gramme de CO₂. En ramenant tout au kg de CO₂, il est plus facile d'appréhender les conséquences potentielles sur le réchauffement climatique.

Tout comme la consommation d'énergie, il existe deux types d'émissions :

- les émissions directes (au champ, comparables à l'énergie utile, donc uniquement pour les postes « carburant » et « irrigation », ainsi que la dénitrification) ;
- les émissions indirectes (en amont, liées à la production et la distribution des facteurs de production).

La somme de ces deux types d'émissions représente les émissions totales.

De la même manière que pour l'énergie, nous allons étudier chacun des postes. Les explications concernant les postes carburant, semences et matériel sont les mêmes que pour la consommation d'énergie primaire. Les postes fertilisation et irrigation sont différents.

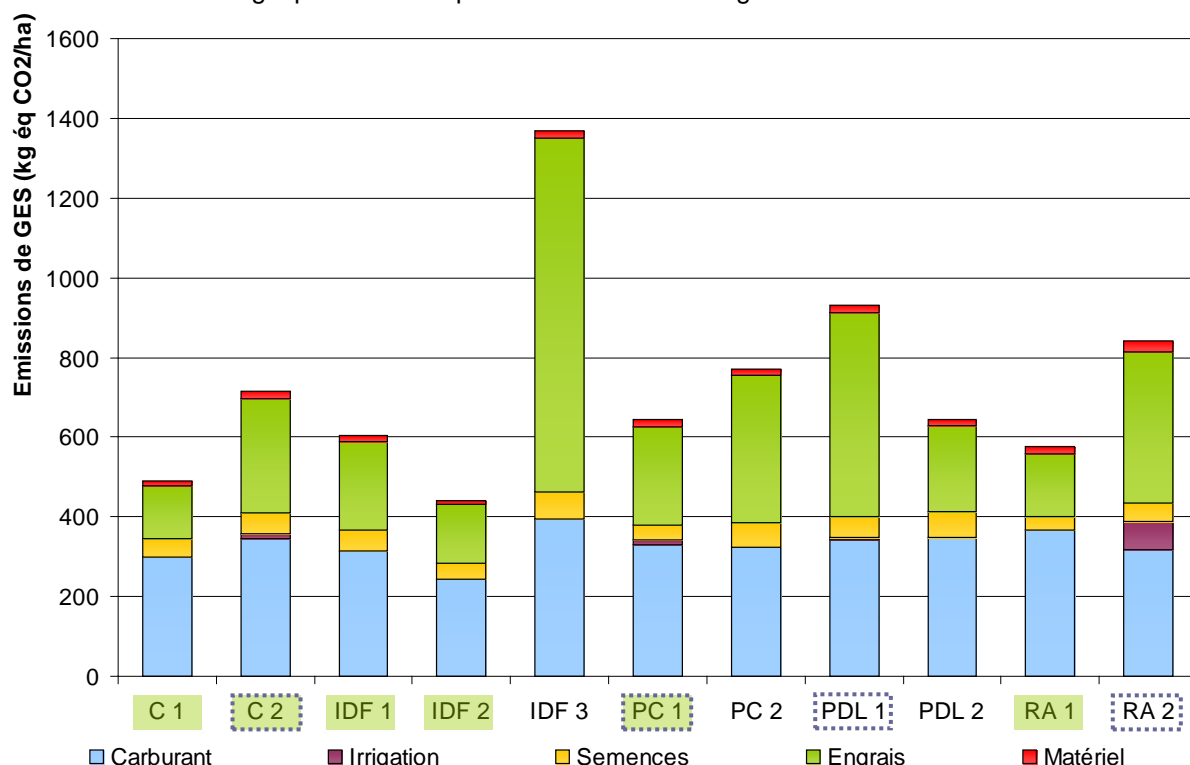
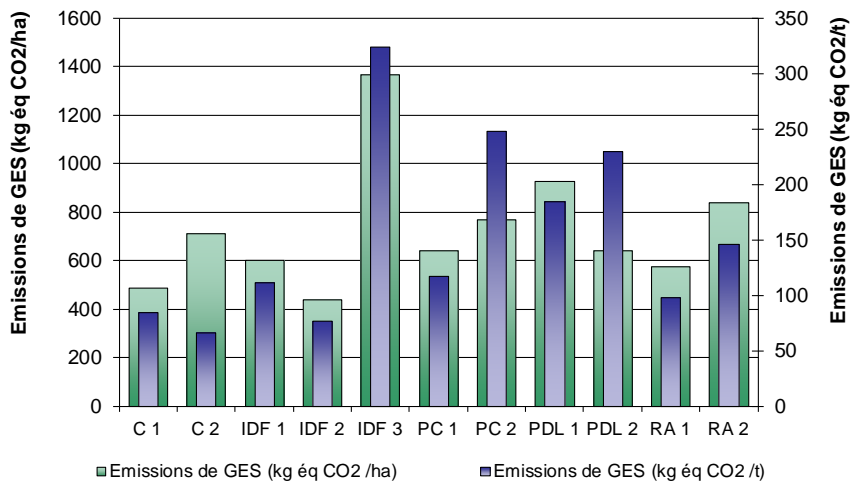


Figure 34 : émissions de gaz à effet de serre, détail des postes

Irrigation : l'électricité nécessaire à l'acheminement de l'eau consomme beaucoup d'énergie mais les émissions de GES sont limitées (énergie nucléaire), c'est pourquoi l'impact de l'irrigation est bien plus faible sur les émissions de GES que sur la consommation d'énergie primaire. Notons que le forfait Arvalis sur l'irrigation ne prend en compte que les installations électriques. On retrouve encore des pompes à gasoil chez certains agriculteurs. L'impact environnemental de ces dernières serait beaucoup plus important.

Engrais : comme le montre la figure 34, l'apport d'engrais organiques a un effet important sur les émissions de GES. En apportant de l'azote (quel que soit le type d'engrais), l'activité humaine enrichit le sol. La quantité d'azote sous forme nitrique influence fortement l'intensité des réactions de dénitrification, présentes naturellement dans le sol. C'est le supplément de production de N_2O dû à l'activité de l'homme qui est pris en compte.

Nous avons vu précédemment que les quantités d'azote apportées dans chaque rotation dépendaient fortement du type de rotation (cf. partie 5.1.2.6). Ainsi, les émissions de N_2O sont plus conséquentes dans les rotations courtes, qui sont plus dépendantes de l'azote. Notons que la fixation d'azote atmosphérique par les légumineuses n'est pas prise en compte dans le calcul par manque de preuves sur les émissions qu'elle peut engendrer (Rochette et Janzen, 2005).



L'utilisation de la tonne de matière brute accentue les écarts. Ainsi, les rotations avec luzerne produisent moins de CO₂ à la tonne produite (gardons à l'esprit la forte productivité de la luzerne et son utilisation différente par rapport au blé) (figure 35).

Figure 35 : comparaison des émissions de GES à l'hectare et à la tonne

A retenir – les émissions de gaz à effet de serre

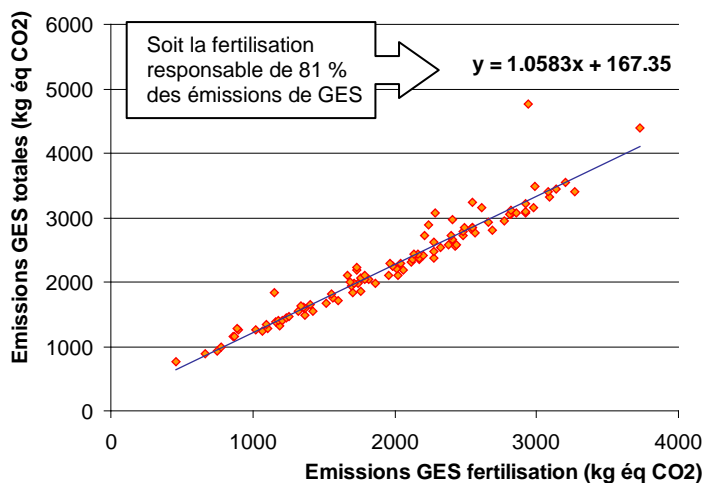
Les postes dont l'impact sur les émissions de GES est le plus élevé sont différents de ceux ayant des effets importants sur la consommation d'énergie. Alors que l'irrigation occupait une place importante dans les consommations d'énergie primaire, elle émet très peu de GES (uniquement valable pour les installations électriques).

Les postes les plus importants dans les émissions de GES sont la consommation de carburant et la dénitrification de l'azote dans le sol. Nous avons vu auparavant que la consommation de carburant n'est pas si différente d'un système à l'autre lorsque la récolte de la luzerne est comptabilisée. C'est donc la dépendance vis-à-vis de l'azote qui sera la source des écarts observés. Avec des quantités d'azote apportées à l'hectare beaucoup plus conséquentes, l'impact des rotations courtes sans luzerne sera généralement plus important.

Point sur les émissions de GES en agriculture conventionnelle

L'enquête de 2008 montre des émissions de GES qui s'étendent de 750 à 4700 kg équivalents CO₂ selon la culture. En moyenne, l'ordre de grandeur avoisine les 2200 kg, soit une valeur supérieure à la maximale des cas-types RotAB.

En moyenne, la fertilisation minérale représente 81 % des émissions totales de GES (attention, valeurs très variables). L'impact des pratiques de fertilisation semble très important, beaucoup plus qu'en agriculture biologique (engrais de synthèse interdits en bio). La corrélation est d'ailleurs perceptible (figure 36).



Notons que la part des émissions de GES due à la production des engrais et celle due à la dénitrification de l'azote sont à peu près équivalentes.

Figure 36 : relation entre émissions de GES totales et Emissions de GES « fertilisation » en conventionnel

A retenir - conclusion sur l'environnement

Nous avons pu effectuer une première approche de l'impact des rotations à deux niveaux : la consommation en énergie primaire et les émissions de GES. Selon l'indicateur étudié, les résultats sont différents.

La consommation réelle de carburant à la parcelle est relativement identique d'un système à l'autre. Ainsi, en prenant en compte les consommations de carburant par les entreprises, la luzerne ne permet plus aucune économie puisque les récoltes sont très lourdes. Le carburant n'est donc pas le facteur déterminant dans les variations des impacts environnementaux des rotations.

En termes de consommation d'énergie primaire, la différence entre les rotations se joue principalement sur l'irrigation. L'acheminement de l'eau étant très énergivore, l'impact des rotations dépendantes de l'eau est plutôt négatif.

Concernant les émissions de GES et l'impact sur le changement climatique, la différence s'explique par la dépendance à l'azote, que l'on peut associer au type de rotation. Les rotations courtes tributaires des engrais organiques émettent plus de GES, les écarts avec les rotations longues pouvant aller jusqu'à 800 kg de CO₂ par hectare.

Tous ces résultats nous ont permis d'appréhender les rotations sous différents angles : économie, agronomie, environnement. Cependant, cette étude constitue une première approche en la matière. De nombreuses questions restent en suspens et nous avons pu identifier au cours de cette étude quelques points de méthodes qui nécessitent des améliorations. Nous aborderons ces différents aspects dans la partie suivante.

Pour aller plus loin dans les analyses, de nombreux résultats bruts sont disponibles en annexe 14.

6. Limites et perspectives de l'étude

Malgré de nombreux résultats, quelques limites ont été identifiées au cours de cette étude. Elles permettent de prendre du recul quant aux conclusions présentées et laissent entrevoir les différentes améliorations à apporter.

6.1. Limites de l'étude

Afin d'organiser cette argumentation, la structure de cette partie suivra celle du rapport.

6.1.1. Analyse des enquêtes RotAB

L'analyse d'enquêtes réalisées auprès d'agriculteurs a permis de mettre en valeur les fondements de la conception des rotations dans les systèmes céréaliers biologiques. Elle confirme que le choix des cultures et des successions culturales est complexe tant les facteurs à prendre en compte sont nombreux : contexte pédoclimatique, débouchés, caractéristiques économiques et agronomiques des cultures, etc. Les trois mots d'ordre à retenir sont : économie, gestion des adventices et maintien de la fertilité des parcelles.

Toutefois, l'analyse a montré quelques failles.

Le contenu des enquêtes est très hétérogène et certaines manquaient de substance. De ce fait, quelques points n'ont pu être étudiés que par une interprétation de notre part. Ils ne reflètent donc peut être pas au mieux le raisonnement des agriculteurs, ce qui pourrait remettre en cause la validité de nos résultats. Ce manque de données est principalement dû à la présence de nombreuses questions ouvertes : cette méthode montre des avantages mais aussi quelques inconvénients.

Les réponses fournies ne correspondent pas toujours à l'enjeu défini (manque de réponses dans certains cas). Peut-être aurait-il fallu « refermer » certaines questions. Cela nous aurait certainement permis de récolter plus d'informations, en particulier celles qui semblent évidentes aux yeux des agriculteurs, donc celles auxquelles ils ne pensent pas toujours.

Malgré cela, l'analyse fournit des informations précieuses et apporte des références en matière de règle de décision à l'échelle de la rotation. Par exemple, elle rappelle que dans la réalité, la rotation n'est pas figée mais doit être perçue comme un schéma général à suivre tout s'adaptant aux évolutions de son environnement.

Concernant les règles de décision, une analyse des enquêtes RotAB en région Pays de la Loire et Rhône-Alpes a permis d'aller plus loin sur l'aspect des règles de décision (De Pessoa *et al.*, 2009). Dans l'ensemble, nos résultats sont similaires avec les grandes conclusions de ce rapport, ce qui nous conforte dans la validité des résultats. D'autre part, cette étude apporte des informations plus précises en termes de règles de décision à l'échelle de l'itinéraire technique cultural. Ces deux études sont complémentaires.

6.1.2. Construction des cas-types

Pour construire les cas-types, de nombreuses hypothèses de travail ont été prises. Il s'agit de prix de vente des cultures, de prix des intrants, de rendement, de structure d'exploitation, etc. Nous sommes conscients que ces hypothèses pourront toujours être contestées.

Toutefois, notre vœu de représentativité nous a poussé à justifier chaque information des cas-types. Ainsi, nos choix sont basés sur des références à l'échelle nationale ou régionale, des bases de données, des réseaux d'agriculteurs, des expertises, etc. De plus, les cas-types ne sont pas figés et il est possible d'adapter les données à un contexte plus particulier à partir du moment où toute décision est justifiée.

Notre vœu de représentativité s'est traduit par la construction de cas-types régionalisés qui représentent plusieurs grands types de rotations. Afin de venir appuyer la validité de ce travail, une comparaison de nos résultats avec les performances d'exploitations agricoles réelles et équivalentes pourrait être intéressante.

6.1.3. Evaluation technico-économique des rotations

L'évaluation des performances technico-économiques des rotations a été un point important de cette étude. Il s'agit de l'aspect sur lequel nous avons le plus de recul, la méthode étant utilisée depuis de nombreuses années.

Pourtant, certains résultats se sont montrés inattendus (par exemple, la faible rentabilité du maïs grain irrigué). Cela pose une question essentielle : nos cas-types sont-ils véritablement représentatifs ? Dans le cas du maïs ; nous retrouvons des niveaux de charges parfois plus élevés que ce que nous aurions imaginé (semences, mécanisation, irrigation). Cependant, n'est-il pas simplement question de point de vue ? Alors que le raisonnement économique à l'échelle de la culture est très souvent basé sur les marges brutes, qu'en est-il des marges nettes, qui se rapprochent plus du revenu final qu'apporte la culture ?

Dans tous les cas, il est important de garder à l'esprit que certains résultats sont calculés à partir d'échantillons restreints (seulement 4 valeurs pour le maïs grain irrigué. Seul le blé, avec 22 modalités, est très représenté à travers tous les cas-types). Une extrapolation à toutes les situations n'est donc pas appropriée.

Afin d'apporter à nos conclusions une certaine robustesse, il est indispensable d'approfondir la question par d'autres travaux en adoptant une méthode équivalente. Puisque les références à l'échelle de la rotation manquent encore, nous nous contenterons de comparer nos résultats à des études antérieures sur les coûts de production du blé tendre biologique.

Comparaison des résultats :

Un travail sur les systèmes céréaliers biologiques a été réalisé en 2008 par Arvalis (Rouger, 2008). Il présente les coûts de production du blé tendre dans les régions Centre/Ile-de-France et Pays de la Loire. Bien que certains détails méthodologiques diffèrent, les résultats sont comparables.

Pour les deux zones d'études, les résultats semblent différents. Alors que la région Pays de la Loire semble mise en avant dans l'étude de 2008, c'est l'inverse dans nos cas-types (tableau 31). Pourtant, il faut rester modeste quant à ces différences. L'étude de 2008 a été réalisée auprès d'une trentaine d'agriculteurs et représente donc des cas réels. De plus, le contexte a pu évoluer depuis. Nos hypothèses sont donc certainement différentes des données utilisées pour cette étude.

Notons également que, dans notre cas-type Pays de la Loire, nous n'avons présenté aucune rotation à base de luzerne puisqu'elles ne se retrouvent que chez les éleveurs, ce que nous cherchions à éviter. L'absence de luzerne en Pays de la Loire représente certainement un biais à la comparaison des deux études.

Tableau 31 : Comparaison des résultats d'une étude sur les coûts de production du blé tendre et des cas-types

	Pays de la Loire		Centre / Ile-de-France	
	Etude 2008	Cas-types	Etude 2008	Cas-types
Rendement moyen du blé tendre (t/ha)	4.1	3.4	3.6	4.2
Coût de production (€/t)	254	330	293	292
Charges de mécanisation (€/ha)	358	374	327	361

Une autre étude a été réalisée dans le cadre du CAS DAR en cours sur les légumes de plein champ. Bien qu'elle s'intéresse principalement à la pomme de terre, elle présente des coûts de production de blé tendre à 269 €/t contre 287 €/t pour nos cas-types (Euvrard, 2010).

Elle démontre également l'avantage des légumes de plein champ (pomme de terre, betterave rouge), comme c'est le cas dans notre rotation Centre 2 qui contient de la betterave rouge. Les marges brutes de la betterave rouge dans les deux études sont équivalentes (6 900 et 7 000 €/ha) mais les marges nettes sont très différentes. Cela s'explique pour beaucoup par la spécialisation des systèmes étudiés par Euvrard, alors que nous nous sommes penchés sur un cas d'un céréalier profitant d'une opportunité offerte par un marché de niche.

Dans tous les cas, il est essentiel de retenir une chose concernant la réussite économique des rotations : la spécificité de chaque contexte conditionne pour beaucoup la rentabilité, puisqu'elle influence le choix des cultures, les niveaux de rendement, etc. Cette étude met bien en évidence cet aspect, et nous rappelons que les conclusions tirées ne peuvent être extrapolées à toutes les situations. C'est pourquoi il semble important de réaliser des études similaires dans d'autres régions françaises afin d'apporter plus de robustesse à nos résultats et de construire des références à l'échelle locale.

A l'opposé de nos résultats, une étude de 2005 (prix bas) a montré que la rentabilité des exploitations était en danger dans le contexte de l'époque (Marsac *et al.*, 2005), d'autant plus lorsque les rendements sont peu maîtrisés (forte vulnérabilité aux aléas climatiques). Il est donc essentiel de rappeler que les niveaux de prix peuvent avoir un impact très important sur la rentabilité des exploitations. La stabilisation et l'amélioration des rendements reste une solution efficace mais parfois difficile à atteindre.

6.1.4. Evaluation de l'impact environnemental des rotations

Notre évaluation de l'impact environnemental des rotations céréalières biologiques est une première approche. Il n'existe à l'heure actuelle aucune méthode commune pour une évaluation de ce genre. Les tendances et hypothèses émises méritent donc d'être approfondies. Pour cela, certaines limites de notre travail doivent être présentées.

Par manque de références, les valeurs de consommation d'énergie et d'émissions de GES ont été calculées pour des **semences** certifiées conventionnelles. Il paraît essentiel d'entamer les adaptations nécessaires, puisque l'impact des semences biologiques est potentiellement différent (itinéraire technique, intrants et rendements différents). De plus, étant donné l'importante proportion de semences fermières, il est nécessaire de différencier les semences certifiées ou produites sur l'exploitation. Toutefois, on note que le poids des semences dans la consommation d'énergie primaire ou les émissions de GES est relativement faible.

L'absence de prise en compte de la phase de production des **engrais organiques** peut être contestée. Pour rappel, la méthode de calcul veut que l'impact environnemental de la production des engrais organiques soit affecté en totalité à l'activité dont ils sont les déchets / co-produits.

Ce questionnement se montre particulièrement intéressant lorsque les engrais ont subi une phase de transformation (par exemple les farines animales). Malheureusement, la collecte de données est assez difficile dans ce domaine (souci de confidentialité de certaines entreprises). Notons que des travaux sont engagés en la matière, ce qui signifie que les enjeux ont d'ores et déjà été compris.

Le logiciel Systerre n'intègre pas encore la **fourniture d'azote par les légumineuses** non productives (engrais verts, jachère) ni la restitution d'azote pas les résidus de culture. C'est la raison pour laquelle nous n'avons pas voulu présenter de bilan global azoté. Des réflexions méritent d'être engagées à ce sujet, puisque l'indéniable avantage des couverts végétaux ne peut et ne doit pas être négligé, en particulier dans des systèmes biologiques sans élevage où la gestion de la fertilité est essentielle.

Concernant, **l'irrigation**, le manque de données en quantité suffisante a entraîné la mise en place de la norme de consommation en énergie de 1 kWh par mètre cube utilisé. Cependant, les résultats doivent être pris avec précaution puisque la diversité des systèmes (forages, réserve d'eau, réseau, pompes à gazoil) ne peut pas être prise en compte de cette manière.

Enfin, les incertitudes relatives aux **émissions de GES** dues à la dénitrification des engrais sont énormes (jusqu'à 200 %). En effet, le sol est un milieu complexe dont beaucoup de processus restent difficiles à modéliser ou à comprendre (en particulier concernant l'activité biologique). A l'heure actuelle, il est plus prudent de considérer ces résultats comme des ordres de grandeur.

Ces limites montrent qu'il existe une quantité de travail importante en termes d'évaluation environnementale de l'agriculture. Cependant, de plus en plus de projets voient le jour et la récente prise en compte des enjeux environnementaux semble jouer en faveur d'une meilleure compréhension des processus impliqués.

Notons que nos analyses environnementales des rotations ne sont volontairement pas exhaustives. Nous nous sommes orientés en particulier sur les aspects énergie et gaz à effet de serre, mais il existe bien d'autres critères d'évaluation environnementale (par exemple, pollution par les nitrates). Ces aspects sont abordés plus en détail par le logiciel MASC-AB.

6.2. Perspectives d'évolution

Cette étude s'ouvre sur de nombreuses perspectives intéressantes.

Les données présentées dans le cadre de l'évaluation multicritères pourront désormais servir de références technico-économiques et environnementales. Qu'il s'agisse des cas-types ou des résultats de l'évaluation, les utilisations potentielles sont nombreuses.

Les cas-types RotAB constituent des références régionales sur les systèmes céréaliers biologiques. Pour continuer à les faire évoluer et leur apporter toujours plus de représentativité, il est important qu'ils soient validés par des personnes extérieures au projet RotAB.

Nous pouvons également envisager ce qui constituerait un atout majeur pour ces cas-types : une réactualisation des données. La mise à jour régulière de variables comme les prix de vente, le prix des intrants, les rendements, les évolutions techniques, la création de nouveaux débouchés, etc. permettrait à ces références de s'adapter en permanence et de conserver leur validité au fil du temps. En aucun cas les informations des cas-types ne sont figées. Ainsi, l'adaptation de certains détails à un contexte plus précis ne semble poser aucun problème. En ce sens, le stockage des cas-types dans une base de données partagée entre les partenaires (comme Systerre[®]) est une solution intéressante.

En tant que première approche, ce travail nécessite l'appui d'autres études pour venir confirmer et approfondir les résultats obtenus. Dans le but de renforcer nos résultats, différents travaux peuvent être envisagés :

- études similaires à la nôtre, dans d'autres régions, par exemple en région Midi-Pyrénées, qui présente une forte proportion d'agriculture biologique. L'importance du contexte nous a en effet montré que la prise en compte des spécificités régionales était essentielle.
- évaluation multicritères d'exploitations réelles, équivalentes ou non à nos cas-types.
- analyse multicritères de systèmes de culture comparables via l'outil MASC-AB, un outil d'évaluation des systèmes de cultures biologiques, développé dans le cadre de RotAB.
- validation et discussions des résultats avec les partenaires du projet.

Enfin, dans un but pédagogique, il serait intéressant de valoriser les cas-types construits à travers des fiches de présentation.

D'autre part, cette étude ouvre des voies à explorer pour l'avenir :

- étude de l'impact de la politique agricole commune et de la dépendance aux aides sur les exploitations en agriculture biologique.
- études plus approfondies d'aspects techniques comme la gestion du temps de travail (faisabilité technique des cas-types). Il serait également intéressant d'aborder la notion d'optimisation d'assolement, mais la prise en compte des facteurs agronomiques est difficile. Pour cela, il faudrait dans un premier temps apporter plus de références à l'échelle de la culture.
- un focus sur le désherbage mécanique (un CasDar désherbage mécanique est en cours) ou encore le désherbage manuel. Ce dernier est un point important de la lutte contre les vivaces mais il est très difficile à appréhender (estimation du temps de travail parfois difficile).
- travaux permettant d'apporter de la robustesse quant à la méthode d'évaluation des impacts environnementaux, avec si possible les adaptations nécessaires à l'agriculture biologique.

Conclusion

Sur le terrain, la construction d'une rotation cohérente est difficile. Elle nécessite l'intégration de nombreux facteurs qui sont parfois en contradiction. L'analyse d'enquêtes auprès d'agriculteurs biologiques montre qu'il existe de grands principes de construction des rotations qui se retrouvent quel que soit le système étudié. Ainsi, économie, maîtrise des adventices et maintien de la fertilité des parcelles sont les trois mots d'ordre des systèmes céréaliers biologiques. Toutefois, les résultats montrent également qu'il est essentiel de savoir adapter ces principes au contexte pédoclimatique et économique (marché, disponibilité des engrais).

L'évaluation multicritères des rotations met en valeur de nombreux résultats. L'analyse **économique** montre que le choix des cultures conditionne la rentabilité de la rotation. Pourtant, la rotation n'est en pas le seul facteur de succès. En effet, la réussite économique de chaque système est en relation étroite avec le contexte pédoclimatique.

Aussi, les conclusions quant à la présence de luzerne ou d'irrigation ne sont applicables qu'à des échelles locales. Alors que certaines zones affichent un contexte assez favorable aux rotations longues, d'autres présentent un avantage pour les rotations courtes, d'autant plus lorsque l'irrigation apporte une plus-value et une assurance de rendement.

Toutefois, le choix d'une rotation ne peut pas être porté que par la notion de rentabilité. Le choix des cultures est conditionné par le contexte pédoclimatique et la présence de débouchés. Ainsi, des cultures comme la luzerne ou le maïs ne peuvent être cultivés que dans certaines situations.

Techniquement, lorsque la luzerne est récoltée par entreprise, elle constitue une stratégie de réduction du temps de travail pour l'agriculteur. A l'inverse, le recours à l'irrigation ne peut en aucun cas se raisonner sans intégrer l'aspect temps de travail, en particulier lorsque les cultures affichent des besoins concentrés sur une courte période de l'année.

Sur le plan **agronomique**, les avantages des systèmes à base de luzerne sont indéniables. D'une part, elle apporte une certaine autonomie azotée, au moins dans les premières années de la rotation. D'autre part, sa contribution à la lutte contre les adventices et plus particulièrement le chardon constitue un atout majeur par rapport aux systèmes sans luzerne, pour lesquels une bonne maîtrise technique du désherbage mécanique sera essentielle.

Dans un contexte où l'enjeu de la préservation des ressources naturelles est grandissant, il est nécessaire d'intégrer des **indicateurs environnementaux** à l'évaluation des systèmes de culture. Le manque de recul par rapport aux impacts environnementaux implique que les résultats soient pris avec précaution. Toutefois, des premières tendances apparaissent. Ainsi, la consommation d'énergie primaire est très largement influencée par la présence d'irrigation, alors qu'aucune différence entre rotations avec ou sans luzerne n'est perceptible. En matière d'émissions de gaz à effet de serre, l'avantage est donné aux rotations avec luzerne puisque les rotations courtes sont plus dépendantes de l'azote, un des facteurs d'émission les plus importants.

Ces premiers résultats encourageants laissent apparaître un manque de références important. Il est donc essentiel d'effectuer d'autres études similaires afin d'appuyer ces résultats. Cela permettrait à la même occasion d'améliorer la méthode d'analyse.

Enfin, cette première approche des rotations montre qu'il n'existe pas de système idéal applicable à toutes les situations. Les différents objectifs sont parfois contradictoires, d'où l'importance de définir des priorités, ce qui ne doit pas exclure la recherche d'une amélioration continue. La véritable réussite se trouvera dans le choix d'une rotation qui offre le meilleur compromis entre économie, agronomie et environnement, tout en répondant aux exigences d'un contexte pédoclimatique et économique parfois très localisé.

Références Bibliographiques

- ADEME. (2009). Management environnemental et éco-produits. **[en ligne]**. Disponible sur <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=23735>
- Agence Bio. (2009a). Les principaux chiffres de la bio en France. L'agriculture biologique, chiffres clés – Edition 2009. p.31-53. **[en ligne]**. Disponible sur http://www.agencebio.org/upload/pagesEdito/fichiers/Chap4_donnees_bio_france.pdf
- Agence Bio. (2009b). La commercialisation et la consommation des produits biologiques en France. L'agriculture biologique, chiffres clés – Edition 2009. p.88-97. **[en ligne]**. Disponible sur http://www.agencebio.org/upload/pagesEdito/fichiers/2008_chap5_marche_conso.pdf
- Agence Bio. (2009c) : l'agriculture biologique dans les régions. L'agriculture biologique, chiffres clés – Edition 2009. p. 141-187. **[en ligne]**. Disponible sur http://www.agencebio.org/upload/pagesEdito/fichiers/2008_regions.PDF
- Agence Bio. (2010). Les chiffres de la bio sont au vert! Conférence de presse du 19 mai 2010. 47 p. **[en ligne]**. Disponible sur <http://www.agencebio.org/upload/actu/fichier/DPPtpsBIOval190510.pdf>
- AGRESTE. (2010). Données en ligne. **[en ligne]**. Disponible sur <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/page-d-accueil/article/donnees-en-ligne>
- BRIGGS S. (2008). Nitrogen Supply and Management in Organic Farming. Institute of Organic Training & Advice: research Review, 29p. **[en ligne]**. Disponible sur http://www.organicadvice.org.uk/papers/Res_Review_2a_briggs.pdf
- CITEPA. (2010). Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France - Séries sectorielles et analyses étendues. Format SECTEN. Paris, Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique, 312 p.
- Chambre Régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes. (2008). Rotations. Fiche pratique agriculture biologique. Poitiers, 2 p. **[en ligne]**. Disponible sur <http://www.vienne.chambagri.fr/infospratiques/agriculturebio/>
- Chambre d'Agriculture du Maine et Loire. (2009). La rotation : diversité, stabilité, rentabilité. Anjou culture n°132, février 2009. 2p. **[en ligne]**. Disponible sur http://www.maine-et-loire.chambagri.fr/iso_album/ac132mlt_rotation.pdf
- COMIFER. (2007). Teneurs en P, K et Mg des organes végétaux récoltés pour les cultures de plein champ et les principaux fourrages. La Défense, COMIFER, 4 p. **[en ligne]**. Disponible sur http://www.unifa.fr/01_actu/fichiers/COMIFER%204%20pages.pdf
- COMIFER. (2009). Le chaulage, des bases pour le raisonner. Paris, éditions Book Emissaire, 110 pages.
- DAVID C. (2002). La production de blé biologique en France : vers une fragilisation de la filière ? Institut Supérieur d'Agriculture de Rhône-Alpes.
- DE PESSOA M.A, DEMADE L., GERARD A., HEROUARD C., JEULAND F., SAINTE-BEUVE J., SANZ C. & WILLMANN S. (2009). Etude comparative des systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage existant dans deux régions : Pays de la Loire et Rhône-Alpes. Angers, ESA, 66p.
- EUVRARD R. (2010). La pomme de terre biologique de plein champ : entre diversité de systèmes et performances technico-économiques. Résultats d'enquêtes dans des régions céréalières françaises. Mémoire de fin d'études. Agrocampus Ouest, 63p.
- FONTAINE L., GERBER M., MAURICE R., CHAUVEL P., GLACHANT C., GOURAUD J.P., MORAND P. & KLOAREG L. (2009). Les grandes cultures biologiques en France : état des lieux des rotations pratiquées par régions – version provisoire. Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 52p.
- FONTAINE L. (2009). Programme CAS DAR « RotAB » : Peut-on construire des rotations et assolements qui limitent les impacts environnementaux tout en assurant une viabilité économique de l'exploitation? Institut Technique de l'Agriculture Biologique.
- FranceAgriMer. (2010). Flash info bio n°2 – février 2010. 2p. **[en ligne]**. Disponible sur http://www.onigc.fr/pdf/FR/flash_info_bio_fev10.pdf.
- GERBER M. & FONTAINE L. (2009) Grandes cultures biologiques : maintenir la fertilité des sols RMT DévAB – AXE 1 – Production - Fiche n°3. 4p. **[en ligne]**. Disponible sur <http://195.101.239.116/rmtdevab/moodle/course/view.php?id=2>
- ITAB. (2005). Maîtriser les adventices en grandes cultures biologiques, première édition. Paris, ITAB, 119p.
- LAURENT J. METIVIER T. GUIMAS A. & QUERE S. (2006). Bien concevoir sa rotation. Chambres d'Agriculture de Normandie. 2p. **[en ligne]**. Disponible sur http://partage.cra-normandie.fr/fichiers/bio_rotationdef.pdf

LECLERC B. (2001). Guide des matières organiques, tome 1, Deuxième édition. Paris, ITAB, 238p.

MARSAC S., VIAUX P., JACQUIN C., CHABANEL Y. & HELIAS R. (2005). Coûts de production Sud-Ouest : les marges des grandes cultures biologiques en baisse. Perspectives agricoles n°311 – Avril 2005, p6-12.

Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche. (2009a). Plan agriculture biologique : tripler les surfaces d'ici 2012. **[en ligne]**. Disponible sur <http://agriculture.gouv.fr/plan-agriculture-biologique.939>

Ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche. (2009b). Plan performance énergétique des exploitations agricoles. **[en ligne]**. Disponible sur <http://agriculture.gouv.fr/plan-performance-energetique-des>

Molher C.L. & Johnson S.E. (2009). Crop Rotation on Organic Farms: A Planning Manual. Ithaca, NRAES, 156p. **[en ligne]**. Disponible sur <http://www.sare.org/publications/croprotation.htm>

RASMUSSEN I. ASKEGAARD M. & OLESEN J. (2005). Development of weeds in organic crop rotation experiments. Danish institute of Agricultural Sciences, Denmark. **[en ligne]**. Disponible sur <http://orgprints.org/6069/>

ROCHETTE P. et JANZEN H. (2005). Towards a revised coefficient for estimating N₂O emissions from legumes. Nutrient Cycling in Agroecosystems, Volume 73, p. 171-179.

ROUGER P.E. (2008). Céréales biologiques : des coûts de production élevés dépendants du système. Mémoire de fin d'études, Agro Paris Tech, 54 p.

SAADI T. (2009). La consommation d'énergie directe des exploitations agricoles. Agreste Primeur, n° 224, avril 2009. 4 p.

TAILLEUR A. CARIOL M. DELTOUR L. DOLLE J.B. ESPAGNOL S. FLENET F. GUIGNAND N. LAGADEC S. LE GALL A. LELLHI A. MALAVAL. & PONCHANT P. (2009). GES'TIM : Guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre, 138p.
Disponible sur <http://www.inst-elevage.asso.fr>

Crédit photo de couverture : ARVALIS - Institut du végétal.

Liste des figures

Figure 1 : évolution du nombre d'exploitations et des surfaces françaises en bio (Agence Bio, 2009a)	2
Figure 2 : les principaux impacts de la rotation	4
Figure 3 : sites expérimentaux partenaires du projet RotAB	5
Figure 4 : construction des cas-types	18
Figure 5 : construction des rotations-types	18
Figure 6 : choix des itinéraires techniques.....	19
Figure 7 : choix du parc matériel	19
Figure 8 : le contenu des cas-types	20
Figure 9 : localisation géographique approximative des cas-types	20
Figure 10 : coûts de production du blé tendre dans les cas-types RotAB (par précédent cultural et par région).....	23
Figure 11 : montant des charges sur blé tendre, précédent protéagineux.....	24
Figure 12 : coûts de production du blé tendre, précédent protéagineux.....	25
Figure 13 : montant des charges engagées sur le blé en fonction du précédent (cas-type IDF 2).....	26
Figure 14 : coûts de production du blé tendre en fonction du précédent (cas-type IDF 2).....	27
Figure 15 : moyenne des coûts de production du blé en fonction du précédent.....	27
Figure 16 : marge brute avec aides, moyenne par culture	29
Figure 17 : marge nette avec aides, moyenne par culture	30
Figure 18 : marges nettes à l'échelle de la rotation.....	31
Figure 19 : marges nettes des rotations en région Centre	31
Figure 20 : marges nettes des rotations en Ile-de-France.....	32
Figure 21 : marges nettes des rotations en Poitou-Charentes	32
Figure 22 : marges nettes des rotations dans les Pays de la Loire	33
Figure 23 : marges nettes des rotations en Rhône-Alpes	33
Figure 24 : impact des variations de prix sur les marges nettes à l'échelle de la rotation.....	35
Figure 25 : impact des variations de rendements sur les marges nettes.....	36
Figure 26 : consommation de carburant (hors entreprises).....	37
Figure 27 : impact de la variation du prix des intrants sur les marges nettes	38
Figure 28 : temps de travail moyen (hors ETA).....	39
Figure 29 : nombre de passages et coût du déchaumage	40
Figure 30 : nombre de passages et coût du désherbage mécanique.....	40
Figure 31 : consommation d'énergie primaire, détail des postes.....	45
Figure 32 : comparaison des consommations d'énergie primaire à l'hectare et à la tonne	46
Figure 33 : rendement énergétique des rotations	47
Figure 34 : émissions de gaz à effet de serre, détail des postes.....	48
Figure 35 : comparaison des émissions de GES à l'hectare et à la tonne.....	49
Figure 36 : relation entre émissions de GES totales et Emissions de GES « fertilisation » en conventionnel.....	49

Liste des tableaux

Tableau 1 : les bénéfices apportés par la rotation des cultures.....	3
Tableau 2 : les principales interactions entre cultures et milieu	7
Tableau 3 : répartition du nombre d'enquêtes par région.....	8
Tableau 4 : structure des tableaux construits pour l'analyse des enquêtes.....	9
Tableau 5 : Surface et main d'œuvre des exploitations enquêtées	9
Tableau 6 : Cumul des surfaces de quelques cultures rencontrées dans les enquêtes (en hectares).....	10
Tableau 7 : les motivations de la conversion	10
Tableau 8 : caractéristiques des principales céréales à paille rencontrées dans les enquêtes.....	11
Tableau 9 : caractéristiques du maïs grain et principaux oléagineux rencontrés dans les enquêtes	11
Tableau 10 : quelques caractéristiques des principales légumineuses rencontrées dans les enquêtes	12
Tableau 11 : la place des débouchés et de l'aspect technique dans le choix des cultures	12
Tableau 12 : les principales caractéristiques de quelques cultures.....	13
Tableau 13 : caractérisation des rotations des enquêtes par région selon les indicateurs RotAB	14
Tableau 14 : les éléments potentiels à l'origine d'évolutions d'assolement	15
Tableau 15 : nombre d'agriculteurs concernés par les principales adventices rencontrées.....	15
Tableau 16 : les méthodes de lutte contre les adventices.....	16
Tableau 17 : rotations retenues pour les cas-types	20
Tableau 18 : présentation des cas-types étudiés.....	21
Tableau 19 : la fertilisation azotée du blé tendre, précédent protéagineux.....	24
Tableau 20 : hypothèses de prix de vente des cultures (en €/tonne)	28
Tableau 21 : comparaison de la sensibilité du colza et du blé aux variations de prix de vente.....	34
Tableau 22 : sensibilité des cultures aux variations de leur prix de vente	35
Tableau 23 : comparaison de la sensibilité du colza et du blé aux variations de rendements	35
Tableau 24 : sensibilité des cultures aux variations de rendements.....	36
Tableau 25 : les dépenses liées à l'achat d'engrais organiques.....	37
Tableau 26 : nombre de passages et coût de l'ensemble des opérations participant à la gestion des adventices (hors labour) .	40
Tableau 27 : coût moyen des outils de désherbage mécanique.....	41
Tableau 28 : temps consacré au désherbage mécanique sur les céréales à paille (minutes/ha).....	41
Tableau 29 : la maîtrise de l'enherbement dans la rotation.....	42
Tableau 30 : la gestion de la fertilité par la rotation.....	43
Tableau 31 : Comparaison des résultats d'une étude sur les coûts de production du blé tendre et des cas-types	52

Liste des sigles et abréviations

AB : agriculture biologique

ACF : autres charges fixes (= charges de structure)

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

Bio : biologique

CAS DAR : Compte d'Affectation Spéciale pour le Développement Agricole et Rural

COMIFER : Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée

CUMA : coopérative d'utilisation du matériel agricole

DPU : droits à paiements uniques

ETA : entreprise de travaux agricoles

ESA : Ecole Supérieure d'Agriculture

GES : gaz à effet de serre

Ha : hectare

IDF : Ile-de-France

INRA : Institut National de Recherches Agronomiques

ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique

ISARA : Institut Supérieur d'Agriculture de Rhône-Alpes

K : potasse

Kg : kilogramme

Kg éq. CO₂ : kilogrammes équivalents CO₂

kWh : kilowatts par heure

MASC : Multi-Attribute Assessment of the Sustainability of Cropping systems

MJ : méga joules

mm : millimètre (d'eau)

MSA : mutuelle sociale agricole

N : azote

P : phosphore

PC : Poitou-Charentes

PDL : Pays de la Loire

q : quintal

RA : Rhône-Alpes

RotAB : ROTation en Agriculture Biologique

SAU : Surface Agricole Utile

t : tonne

U : unité

UTH : unité de travail humain

Annexes