

VetAgro Sup

Mémoire de fin d'études

PROJET D'INTENSIFICATION AGROECOLOGIQUE EN GRANDES CULTURES BIOLOGIQUES : ETAT DES LIEUX ET PROPOSITIONS POUR LA FERME EXPERIMENTALE DE LA HOURRE

Pascale Métais
Agronomie, Productions Végétales et Environnement
2013



VetAgro Sup

Mémoire de fin d'études

PROJET D'INTENSIFICATION AGROECOLOGIQUE EN GRANDES CULTURES BIOLOGIQUES : ETAT DES LIEUX ET PROPOSITIONS POUR LA FERME EXPERIMENTALE DE LA HOURRE

Pascale Métais

Agronomie, Productions Végétales et Environnement
2013

Maitres de stage : Loïc Prieur (CREAB MP)

Eric Justes (INRA)

Jean-Pierre Sarthou (INP ENSAT)

Tuteur pédagogique : Nathalie Vassal (VetAgro Sup)



L'étudiant conserve la qualité d'auteur ou d'inventeur au regard des dispositions du code de la propriété intellectuelle pour le contenu de son mémoire et assume l'intégralité de sa responsabilité civile, administrative et/ou pénale en cas de plagiat ou de toute autre faute administrative, civile ou pénale. Il ne saurait, en aucun cas, seul ou avec des tiers, appeler en garantie VetAgro Sup.

Remerciements :

Je remercie sincèrement mes maîtres de stage, Loïc Prieur (ingénieur méthodes et références au CREAB MP), Eric Justes (chercheur à l'INRA – UMR AGIR) et Jean-Pierre Sarthou (enseignant-chercheur à l'INP ENSAT – UMR AGIR) pour la confiance qu'ils m'ont accordée et l'opportunité qu'ils m'ont offerte en me confiant ce projet. Je les remercie d'avoir su se rendre disponibles, malgré les nombreuses sollicitations dont ils font l'objet, pour répondre à mes questions et m'accompagner dans les différentes étapes de mon stage. Je leur dois beaucoup aussi pour leurs conseils et leurs expertises qui m'ont été d'une grande aide dans la réalisation de cette étude et m'ont permis d'apprendre énormément. Chacun d'eux a apporté une approche et un regard différents qui ont fortement enrichi mon travail.

J'adresse également mes remerciements à Claire Jouany (chercheuse à l'INRA – UMR AGIR) qui m'a accompagnée dans la compréhension de la dynamique du phosphore à la Hourre, et à Hélène Tribouillois (doctorante à l'INRA – UMR AGIR) pour son éclairage dans le choix des cultures intermédiaires.

Je suis particulièrement reconnaissante envers tous les experts qui ont accepté de me consacrer un peu de leur temps précieux : Alain Canet (Arbre et Paysage 32), Laurie Castel (Chambre d'Agriculture de la Drôme), Jack de Lozzo (Agriculteur), Christian Dupraz (INRA – UMR SYSTEM), Jean Roger-Estrade (AgroParisTech – UMR Agronomie), Jean François Garnier (Arvalis Institut du Végétal), André Gavaland (INRA – Domaine expérimental d'Auzeville), Alain Larribeau (Qualisol), Fabien Liagre (Agroof) et Serge Rostomov (Agribio Union). Je n'oublie pas les nombreuses personnes qui ont répondu à mes demandes d'informations ou de références.

Je tiens aussi à remercier Nathalie Vassal, enseignante-chercheuse à VetAgro Sup, ma tutrice de stage, pour ses conseils toujours avisés, dès la préparation du stage puis tout au long de sa réalisation.

Je remercie tout particulièrement la fondation Ludovic Lapeyrère, qui a apporté une aide spécifique à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Enfin, un grand merci à tous ceux qui ont pu contribuer à la réussite de ce stage, que ce soit par leur collaboration, leurs conseils ou leur soutien.

Abstract

The CREAB MP wants to carry out an agroecological intensification of its experimental farm, “La Hourre”, an organic farm growing main crops without breeding. It has several goals: to improve the durability of the farm, to employ innovating practices, and to solve farmers technical questions about nitrogen autonomy, use of cover crop, and soil tillage reduction. The study aims to suggest scenarios for agroecological intensification of La Hourre. A diagnosis of the situation was done in order to identify objectives for each plot. From these objectives and using knowledge from bibliography and expertise, scenarios of agroecological intensification are proposed, with a suggestion of indicators to evaluate the system.

Main limiting factors identified are insufficient nitrogen nutrition, poor organic matter and weed stress. The scenarios built tackle plot dividing, layout and management of semi-natural habitats, crop rotation including cover crops, and reduction or suppression of plowing. Mixed cover crops, with leguminous and non-leguminous species, are generously suggested because they have many advantages: improve nitrogen nutrition, bring organic matter and make weed control easier. The proposed scenarios should improve soil fertility and bring to nitrogen autonomy without reduce economic margins. However, a more accurate evaluation with specific tools would be useful as a confirmation before setting up the modification.

Key words: Agroecology, organic farming, main crops, fertility, cover crop, semi-natural habitats

Table des matières :

Introduction..	1
1 Contexte	2
1.1 Améliorations et innovations souhaitées au CREAB MP	2
1.2 Questionnement technique.....	2
1.2.1 Autonomie en intrants	2
1.2.2 Utilisation des couverts végétaux en interculture	3
1.2.3 Economie d'énergie et travail du sol.....	3
1.3 La place de l'agroécologie au CREAB MP	3
1.3.1 Développement du concept d'agroécologie et définition.....	3
1.3.2 Intérêts et limites de l'agroécologie	4
1.4 Objectif du stage et problématique	8
2 Matériels et méthodes.....	9
2.1 La démarche employée	9
2.2 Réalisation du diagnostic agronomique, écologique et économique :.....	9
2.2.1 Origine des données utilisées	9
2.2.2 Diagnostic à l'échelle de l'exploitation.....	9
2.2.3 Diagnostic à l'échelle de la parcelle.....	11
2.2.4 Calcul des marges brutes et semi-nettes.....	12
2.3 Méthode d'élaboration des scénarios.....	13
2.3.1 Habitats semi-naturels	13
2.3.2 Conduite des parcelles.....	14
2.4 Proposition de mesures de suivi.....	14
3 Résultats	15
3.1 Diagnostic et définition des objectifs.....	15
3.1.1 Diagnostic à l'échelle de l'exploitation.....	15
3.1.2 Diagnostic à l'échelle de la parcelle : exemple de la parcelle LH6A2	21
3.1.3 Définition des objectifs par parcelles	22
3.2 Proposition argumentée de scénarios.....	22
3.2.1 Découpage parcellaire	22
3.2.2 Aménagement et gestion des habitats semi-naturels.....	22
3.2.3 Conduite des parcelles.....	25
3.3 Propositions pour le suivi de l'évolution de la fertilité des sols et de la biodiversité.....	29
3.3.1 Réalisation d'un point zéro	29
3.3.2 Proposition d'indicateurs pour le suivi agroécologique.....	31
3.3.3 Propositions d'essais complémentaires :.....	32
4 Discussion	33
4.1 Discussion des résultats	33
4.1.1 Résultats du diagnostic.....	33
4.1.2 Scénarios proposés	34
4.2 Discussion de la démarche et des moyens mis en œuvre	39
4.2.1 Diagnostic	39
4.2.2 Méthode de conception des scénarios	40
4.2.3 Evaluation des scénarios	40
Conclusion :	56

Table des figures

Figure 1: Démarche adoptée pour proposer des scénarios de développement de l'agroécologie sur la ferme de la Hourre.	9
Figure 2: Carte d'épaisseur moyenne de sol exploitable par les racines et localisation des zones de référence.....	9
Figure 3: Carte des sols et relief du domaine de la Hourre.....	15
Figure 4: Diagramme ombrothermique sur la base de la formule de Gaussen : $P=2T$	15
Figure 5: Précipitations et évapotranspiration potentielle (ETP): moyenne internannuelle des cumuls par décade.....	15
Figure 6: Assolement et calendrier d'occupation des sols de 2002 à 2012.....	16
Figure 7(a) Production cumulée de biomasse dans les parcelles de coteaux et (b) dans les parcelles de vallées.....	16
Figure 8: Evolution de la teneur du sol en azote organique sur 120 cm de profondeur, de 2002 à 2012, par zone de référence.	17
Figure 9: Indice de nutrition azotée à la floraison, moyenne par culture de 2002 à 2012.....	17
Figure 10: Evolution de l'indice de nutrition azotée à la floraison.....	17
Figure 11: Relation entre indice de nutrition azotée à la floraison et rendement en grains des céréales à paille.....	17
Figure 12: Quantité d'azote minéral à l'automne en fonction du précédent.....	18
Figure 13: Indice de nutrition azotée à la floraison et rendement en grains des céréales à paille en fonction du précédent.....	18
Figure 14: Evolution de la teneur en phosphore assimilable (P Olsen) du sol dans le temps, dans les horizons 0-15 cm de profondeur, 15-30 cm et 30-45 cm.....	18
Figure 15: Evolution de l'indice de nutrition phosphatée à la floraison de 2003 à 2012.....	18
Figure 16: Carte des habitats écologiques du domaine de la Hourre en mai 2013.....	19
Figure 17: (a) Consommation, production et gain énergétique et (b) Consommation énergétique moyenne et part de chaque fonction par type de rotation selon le degré d'intensification.....	20
Figure 18: Marge brute et marge semi-nette pour chaque culture.	20
Figure 19: Charges de mécanisation et de carburant par outil (€/ha).....	21
Figure 20: Charges de mécanisation et consommation de carburant par culture.....	21
Figure 21: Variation de l'humidité dans les horizons 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm et 90-120 cm de la ZR 6 lors de la culture de blé (2006-2007).	21
Figure 22 : Evolution du stock de carbone sur 30 cm de profondeur : comparaison de l'évolution estimée par le bilan avec celle mesurée par analyse, sur ZR 6..	22
Figure 23: Proposition de modification du découpage parcellaire.....	23
Figure 24: Proposition d'aménagements d'habitats semi-naturels au domaine de la Hourre.....	24
Figure 25: Regroupement des parcelles en fonction de leurs caractéristiques et des objectifs visés	25
Figure 26: Rotation sur les parcelles profondes.....	25
Figure 27: Rotation sur les parcelles à faible niveau de matière organique.....	26
Figure 28: Rotation sur les parcelles à risque érosif.....	28
Figure 29: Assolement et calendrier d'occupation du sol dans l'hypothèse où les rotations 1 sont retenues pour chaque groupe de parcelle.....	29
Figure 30: Assolement et calendrier d'occupation du sol dans l'hypothèse où les rotations 2 sont retenues pour chaque groupe de parcelle.....	29
Figure 31: Localisation des pièges de suivi de la biodiversité, de mai à juillet 2013.....	30

Table des tableaux

Tableau 1: Description des données utilisées pour le diagnostic.....	9
Tableau 2: Origines des données utilisées pour le calcul des marges.....	10
Tableau 3: Nombre de mesures d'azote minéral à disposition pour chaque précédent.....	10
Tableau 4: Teneurs en carbone utilisées pour le calcul du bilan	11
Tableau 5: Charges de mécanisation et de carburant par couple outil-tracteur	12
Tableau 6: Rendement en grains aux normes d'humidité (15% d'humidité) des cultures de blé de 2002 à 2012 par zone de référence (prélèvement manuel), en q.ha ⁻¹	16
Tableau 7: Marge brute et marge semi-nette par zone de référence et par année, en €/ha	20
Tableau 8: Evolution du stock d'azote organique et du rapport C/N du sol de 2002 à 2012 sur 0-15 cm.....	22
Tableau 9: Principaux facteurs limitants par zone de référence et objectifs fixés pour chaque parcelle	22
Tableau 10: Profondeur d'enracinement estimée et réserve utile calculée par zone de référence	23
Tableau 11: Estimation des variations des marges brute et semi-nette (en €/ha) en réponse à l'introduction de cultures intermédiaires, suivant les cultures et les cultures intermédiaires..	36
Tableau 12: Estimation de l'évolution des marges brutes et semi-nette (en €/ha) suite aux modifications de rotation sur les zones de référence 1 et 7	37

Table des annexes

Annexe 1 : Liste des experts rencontrés ou interrogés-----	I
Annexe 2 : Présentation des formules d'INN et INP utilisées-----	II
Annexe 3 : Protocole de description des habitats, utilisé pour la cartographie des habitats semi-naturels-----	III
Annexe 4 : Calcul des marges brute et semi-nette : Exemple de la ZR1 en 2012, parcelle de vallée cultivée en blé avec la variété Astaro-----	VIII
Annexe 5 : Relations entre rendements, azote minéral du sol et INN-----	IX
Annexe 6 : Séquences d'arbres plantés dans les haies de la Hourre-----	XI
Annexe 7 : Tableau de synthèse du diagnostic agronomique par parcelle-----	XII
Annexe 8 : Liste d'arbres étudiés pour leur potentiel de réservoir biologique-----	XIV
Annexe 9 : Liste de plantes intéressantes pour les bandes fleuries-----	XX
Annexe 10 : Présentation de différentes méthodes d'observation de l'état structural des sols----	XXII
Annexe 11 : Détail du calcul de l'impact énergétique des cultures intermédiaires en fonction de la culture principale suivante-----	XXIII
Annexe 12 : Eléments nécessaires pour élaborer un projet de plantation d'arbres dans les parcelles à la Hourre -----	XXIV

Liste des sigles et abréviations :

AB	Agriculture biologique
AGIR	Agrosystèmes et agricultures, Gestion des ressources, Innovations et Ruralités
CACG	Compagnie d'aménagement des coteaux de Gascogne
CASDAR	Compte d'affectation spécifique pour le développement agricole et rural
CAU	Coefficient apparent d'utilisation
C/N	Rapport entre le carbone et l'azote
CI	Culture intermédiaire
CIPAN	Culture intermédiaire piège à nitrate
CREAB MP	Centre régional de recherche et d'expérimentation en agriculture biologique de Midi-Pyrénées
ETP	Evapotranspiration potentielle
INN	Indice de nutrition azotée
INP	Indice de nutrition phosphatée
INP ENSAT	Institut national polytechnique - école nationale supérieure agronomique de Toulouse
INRA	Institut national de recherche agronomique
MASC	Multi-attribute assessment of the sustainability of cropping systems
MB	Marge brute
MO	Matière organique
MSN	Marge semi-nette
N	Azote
P	Phosphore
P Olsen	Teneur en phosphore du sol mesurée par la méthode Olsen
PAT	Protéine animale transformée
RU	Réserve utile
SIG	Système d'information géographique
TV	Trèfle violet
UMR	Unité mixte de recherche
ZR	Zone de référence

Glossaire

Termes énergétiques :

Efficacité énergétique : rapport entre la production et la consommation énergétiques.

Energie spécifique : consommation énergétique par tonne de matière sèche produite.

Gain énergétique : différence entre la production et la consommation énergétiques.

Restructuration profonde du sol : Opérations de travail profond du sol (labour et décompactage).

Restructuration superficielle du sol : Opérations de travail superficiel du sol hors préparation du lit de semence : gestion préventive des adventices et enfouissement des repousses et résidus.

Implantation des cultures : Opération de préparation du lit de semence et de semis ou plantation.

Termes économiques :

Charges opérationnelles : charges proportionnelles à la production. Ici, il s'agit des charges directement attribuables à une parcelle et une culture : intrants, assurances de la récolte contre la grêle et frais de récolte.

Charges de mécanisation : charges liée à l'utilisation des outils et tracteurs, c'est-à-dire à leur amortissement et entretien.

Charge de carburant : dépense en carburant par les tracteurs et outils.

Marge brute : différence entre les produits et les charges opérationnelles.

Marge semi-nette : différence entre les produits et la somme des charges opérationnelles, de mécanisation et de carburant.

Thermes d'écologie et botanique :

Allélopathique : une plante allélopathique libère des substances chimiques qui ont un effet souvent inhibiteur sur la germination, la croissance ou le développement d'autres plantes.

Autoécologie : ensemble des conditions de milieu permettant la survie et la reproduction d'une espèce vivante.

Marcescent : un feuillage marcescent flétrit sur l'arbre sans s'en détacher à l'automne.

Ripisylve : formations végétales en bordure des cours d'eau.

Sempervirent : un feuillage sempervirent reste vert toute l'année.

Services écosystémiques : services rendus par l'écosystème aux sociétés humaines.

Introduction

Les attentes de la société envers l'agriculture deviennent de plus en plus nombreuses et contradictoires : nourrir des hommes toujours plus nombreux avec des aliments à bas prix mais de qualité élevée, entretenir le paysage, limiter l'impact de l'agriculture sur l'environnement pour le protéger, maintenir voire améliorer la qualité de l'eau, stocker du carbone, etc. En parallèle, le monde agricole est soumis à la volatilité des prix et à la hausse du coût de l'énergie et des intrants. Ce contexte conduit à une remise en cause du modèle agricole actuel tant au niveau de la production que de l'orientation de la recherche et l'innovation.

L'agroécologie semble répondre à cette remise en cause et se développe fortement en France depuis la fin des années 2000 (David *et al.*, 2011). Ce terme regroupe à la fois une discipline scientifique, un mouvement social ou politique et un ensemble de pratiques agricoles (Wezel *et al.*, 2009). L'agroécologie en tant que pratique agricole vise à maximiser l'utilisation de ressources renouvelables (flux solaire, interactions biologiques) à la place des ressources non renouvelables (énergies fossiles, intrants de synthèse) et à limiter les pertes de nutriments et d'eau en favorisant le recyclage (Altieri, 2000).

Ces principes sont en adéquation avec l'éthique de l'agriculture biologique, qui s'interdit le recours aux intrants chimiques de synthèse, mais leur application se heurte bien souvent à des verrous techniques : comment réduire la consommation de carburants liée au labour et au désherbage mécanique sans recourir aux herbicides ? Comment, en l'absence d'élevage, se passer d'engrais azotés organiques dont la production est énergivore ?

Ces questions concernent tout particulièrement le Centre Régional de Recherche et d'Expérimentation en Agriculture Biologique de Midi-Pyrénées (CREAB MP). En effet, cette association en charge de la réalisation d'essais et de l'acquisition de références en grandes cultures biologiques est sollicitée par ses adhérents sur ces thématiques. Le CREAB MP dispose d'une ferme expérimentale de 55ha, le domaine de la Hourre. Elle est conduite en grandes cultures biologiques et sans élevage, et gérée par le chef d'exploitation du lycée agricole qui en est fermier. Le CREAB MP souhaite assurer la durabilité de ce domaine et l'utiliser comme lieu d'innovation. Dans ce double objectif, le il désire réaliser une « intensification agroécologique » de la ferme, c'est-à-dire intensifier l'utilisation de l'agroécologie sans diminuer ses objectifs de rendements. Le but est d'améliorer la fertilité du milieu tout en augmentant ou en maintenant le niveau de production actuel, autrement dit d'améliorer la durabilité de la ferme. Cette intensification agroécologique permettra aussi d'étudier les possibilités d'utilisation de l'agroécologie en grandes cultures biologiques, en réponse aux attentes des adhérents.

L'objectif de cette étude est de proposer des scénarios d'intensification agroécologique pour la ferme de la Hourre. Pour cela, deux échelles de raisonnement sont utilisées : l'exploitation dans son ensemble et les parcelles individuellement. L'élaboration des scénarios comprend deux étapes clés :

1. l'acquisition de connaissances et de références sur l'agroécologie, ses potentialités et ses limites en agriculture biologique, au travers de bibliographie et de la rencontre d'experts
2. la réalisation d'un état des lieux détaillé de la situation actuelle de la ferme permettant de d'identifier des spécificités, de définir des objectifs en cohérence avec ces spécificités et de discerner les choix et stratégies possibles.

La première partie de ce rapport est consacrée à la description du contexte dans lequel s'inscrit l'étude. La démarche et les méthodes employées seront explicitées dans une seconde partie. Ensuite, une troisième partie présentera le diagnostic établi, les objectifs qui en découlent, les scénarios proposés en réponse à ces objectifs et les indicateurs intéressants pour le suivi du dispositif. Enfin, le diagnostic réalisé, les scénarios proposés et la démarche mise en œuvre seront discutés dans une quatrième partie avant d'aborder les perspectives ouvertes à la suite de ce travail.

1 Contexte

1.1 Améliorations et innovations souhaitées au CREAB MP

Depuis 2002, le CREAB MP réalise un suivi à long terme de l'évolution de la fertilité des sols de la Hourre grâce à des zones de référence (il s'agit de 12 zones de 50 m de côté positionnées sur les différents types de sol de l'exploitation). Une première analyse des résultats après 5 ans de suivi a mis en évidence une diminution des quantités de matière organique (MO) et de phosphore assimilable, ce qui laisse penser que le système actuel présente des limites en termes de durabilité.

D'autre part, les pratiques utilisées sur la ferme de la Hourre sont peu innovantes : labour systématique, peu de cultures intermédiaires et pas de cultures associées. Pourtant, les fermes expérimentales telles que celle du CREAB MP ont un rôle essentiel à jouer dans le développement de pratiques innovantes.

Enfin, très peu d'attention a été portée jusqu'ici sur les régulations biologiques et la biodiversité fonctionnelle à l'échelle de l'exploitation de la Hourre. Des haies ont été implantées récemment, mais le CREAB MP souhaite aller plus loin sur ce sujet. L'agroforesterie est une piste à explorer, d'autant plus que le Conseil Général, Président de la Fondation Ludovic Lapeyrère, elle-même propriétaire du domaine de la Hourre, souhaite l'introduction d'agroforesterie sur ce site.

Ce triple constat amène le CREAB MP à réfléchir sur l'évolution de ses pratiques afin d'améliorer la durabilité de l'exploitation via l'utilisation de pratiques innovantes.

1.2 Questionnement technique

Parallèlement à cette volonté d'amélioration du système, le CREAB MP est sollicité sur différents points techniques par ses adhérents. Ils souhaitent que des essais soient mis en place pour apporter des éléments de connaissance sur les thématiques suivantes :

1.2.1 Autonomie en intrants

Plusieurs éléments conduisent à penser que la disponibilité en fertilisants organiques, notamment azotés, autorisés en agriculture biologique va diminuer. En effet, l'usage de fumier séché, fiente de volailles, et compost d'excréments solides provenant d'élevages industriels est actuellement interdit, sans qu'il y ait de définition permettant de qualifier les élevages industriels (Leclerc, 2012). Les farines animales, ou protéines animales transformées (PAT) sont les principales sources d'engrais azotés en grandes cultures biologiques sans élevage, or la concurrence pour l'utilisation de ces farines est de plus en plus forte :

- L'utilisation des PAT est à nouveau autorisée en alimentation animale : les poissons peuvent être nourris à partir de farines de volailles et de porcs depuis le 1^{er} juin 2013. (Commission Européenne, 2013). Les producteurs de grandes cultures biologiques seront donc en concurrence avec les pisciculteurs pour l'utilisation de cette ressource ;
- L'augmentation du nombre d'exploitations et des surfaces en agriculture biologique (Agence Bio, 2012) contribue également à une plus forte demande en fertilisants et donc à l'augmentation de la concurrence ;
- La hausse des prix des fertilisants minéraux peut amener les agriculteurs conventionnels à utiliser également des fertilisants organiques.

Cette augmentation de la concurrence risque de se traduire par une hausse des prix des intrants organiques voire des difficultés d'approvisionnement. Les coopératives semblent craindre la rupture de stock et elles encouragent le CREAB MP à chercher de nouvelles solutions, telles que l'utilisation de légumineuses et engrais verts pour améliorer l'autonomie en azote.

1.2.2 Utilisation des couverts végétaux en interculture

La couverture du sol pendant les périodes à fort lessivage a été rendue obligatoire dans les zones vulnérables par le 4^{ème} programme d'action de la Directive Nitrates (Chambre d'agriculture du Gers 2010). L'arrêté préfectoral prévoit la couverture de 100% des surfaces en zones vulnérables à compter de 2012 (Préfecture du Gers, 2009).

Afin de pouvoir répondre à cette obligation dans les meilleures conditions, les agriculteurs sont demandeurs de références pouvant guider le choix du couvert. De nombreuses questions se posent également sur les dates et modalités de destruction mécanique du couvert et leur influence sur la culture suivante. En effet, en sol argilo-calcaire, la question de la destruction est primordiale afin d'éviter les risques de tassement du sol, de repousse du couvert ou d'allélopathie.

D'autre part, ces couverts peuvent présenter plusieurs intérêts agronomiques : améliorer le statut organique du sol, fixer et recycler l'azote, mobiliser du phosphore difficilement assimilable (Rick *et al.*, 2011), gérer le salissement des parcelles (Justes *et al.*, 2012). Cependant, une utilisation optimale des cultures intermédiaires dans un objectif agronomique demande l'acquisition de références et la mise en place d'essais dans le contexte pédoclimatique local.

1.2.3 Economie d'énergie et travail du sol

La préparation du sol et l'implantation des cultures sont les principaux postes de dépense énergétique en grandes cultures biologiques sans élevage ni irrigation (Pelletier, 2008). Face à la hausse du coût de l'énergie, de nombreux agriculteurs envisagent la réduction du travail du sol et notamment la suppression du labour. Toutefois la suppression du labour ne se fait pas sans inconvénients potentiels, tels que la compaction du sol et le développement d'adventices pouvant fortement pénaliser le rendement (Peigné *et al.*, 2012). Les producteurs sont donc demandeurs d'études pour identifier les conditions de réussite du non labour et lever les freins techniques actuels.

1.3 La place de l'agroécologie au CREAB MP

Dans ce contexte, l'agroécologie peut avoir un rôle important à jouer sur la ferme de la Hourre, à la fois en tant qu'objet d'étude et comme moyen d'amélioration du système de production. D'une part, l'application des principes agroécologiques en agriculture biologique présente un fort intérêt mais pose de nombreuses questions techniques, dont celles soulevées par les adhérents du CREAB MP (autonomie en azote, utilisation des couverts, réduction du travail du sol), qu'il serait intéressant d'étudier sur la ferme de la Hourre. D'autre part, l'intensification agroécologique de la ferme de la Hourre pourrait être un moyen d'améliorer le système de production et la durabilité de l'exploitation.

L'objectif de cette partie est dans un premier temps de définir plus précisément ce qu'est l'agroécologie, et dans un second temps d'en présenter les intérêts et les limites.

1.3.1 Développement du concept d'agroécologie et définition

1.3.1.1 Développement de l'agroécologie

Le terme d'agroécologie est utilisé au début du XX^{ème} siècle pour parler des interactions entre les cultures et leur environnement physique et biologique, puis désigne au milieu du XX^{ème} siècle les concepts d'écologie appliqués en agriculture (David *et al.*, 2011). Les fondements de l'agroécologie ont ensuite été précisés au début des années 90, notamment par Altieri et Gliessman. L'agroécologie s'est fortement développée en France depuis la fin des années 2000 et son inscription comme champ prioritaire dans le document d'orientation 2010-2020 de l'Institut national de recherche agronomique (INRA) (Young, 2010).

Au-delà du domaine scientifique, le terme agroécologie est également utilisé dans l'administration comme en témoigne le titre du rapport présenté en mars 2011 au Conseil des droits de l'homme de l'Organisation des Nations unies (De Schutter, 2012). L'agroécologie a été définie

comme voie d'avenir pour l'agriculture française par le Ministre de l'agriculture lors de la conférence nationale «Agricultures : produisons autrement » (Le Foll, 2012). Afin de répondre au double enjeu de performances économique et écologique, Guillou *et al.* (2013) proposent d'engager durablement l'agriculture française dans la dynamique agroécologique.

1.3.1.2 Définitions de l'agroécologie

L'agroécologie est un terme qui fait référence à la fois à des méthodes et pratiques agricoles, à une discipline scientifique (ou plutôt un croisement de disciplines) et à un mouvement social (Wezel *et al.*, 2009). De même, l'échelle d'étude de l'agroécologie est multiple, du champ cultivé au paysage et à l'ensemble du système alimentaire.

Les définitions de l'agroécologie en tant que concept et discipline sont très diverses : il s'agit à la fois de « la science permettant d'appliquer les concepts et principes de l'écologie pour la conception et la gestion de systèmes alimentaires durables » (Gliessman, 2007) et de « l'étude intégrative de l'écologie du système alimentaire complet comprenant les dimensions écologiques, économiques et sociales » (Francis *et al.*, 2003).

Altieri (2002) considère l'agroécologie comme une étude holistique de l'agroécosystème incluant tous les éléments environnementaux et humains et leurs interactions. L'agroécologie est aussi définie comme « l'étude des interactions entre les plantes, les animaux, les hommes et l'environnement dans les systèmes agricoles » (Dalgaard *et al.*, 2003).

L'agroécologie fait également référence à « un ensemble de méthodes et de pratiques, socle d'une révision des liens entre agriculture et écosystèmes dont le but est de garantir la préservation des ressources naturelles » (Altieri, 1989; in David *et al.*, 2011). L'agroécologie regroupe ainsi différentes pratiques telles que l'utilisation de mulch et couverts, les associations de cultures, la réduction du travail du sol et la lutte intégrée. Ces pratiques reposent sur cinq grands principes agroécologiques (Altieri, 2000) :

1. Améliorer le recyclage de la biomasse, optimiser la disponibilité des nutriments et rééquilibrer les pertes de nutriments.
2. Garantir des conditions de sol favorables à la croissance des plantes, particulièrement au travers de la gestion de la matière organique et de l'amélioration de l'activité biologique du sol.
3. Minimiser les pertes de radiations solaires, d'air et d'eau grâce à la gestion d'un microclimat, la récupération de l'eau et une gestion du sol, à travers l'augmentation de la couverture du sol
4. Diversifier les espèces et les variétés de l'agroécosystème dans le temps et l'espace.
5. Améliorer les interactions biologiques bénéfiques et les synergies entre composants de l'agrobiodiversité, ce qui résulte en la promotion des processus et services écologiques clés.

Les pratiques agroécologiques sont « des moyens d'améliorer les systèmes agricoles en imitant les processus naturels » (De Schutter, 2012). L'agriculteur cherche, via ses pratiques, à maximiser les services rendus par l'agroécosystème, appelés services écosystémiques.

1.3.2 **Intérêts et limites de l'agroécologie**

Médiène *et al.* (2011) considèrent que « à la fois pour la protection et la nutrition des cultures, les processus biologiques constituent une source exceptionnelle d'outils sur lesquels agronomes et agriculteurs peuvent agir ». Cependant, l'utilisation de cette boîte à outils est encore soumise à un certain nombre de contraintes, telles que le manque de connaissances précises et la difficulté de prévoir de manière générale l'évolution des processus écologiques en réponse à une modification des pratiques agricoles. Nous allons présenter ici les intérêts pour l'agriculteur, et parfois aussi pour la société, de l'agroécologie en tant qu'ensemble de pratiques agricoles, avant de discuter des difficultés qui freinent sa mise en œuvre.

1.3.2.1 Intérêts de l'adoption de pratiques agroécologiques

1.3.2.1.1 Contrôle des bioagresseurs

La régulation biologique des ravageurs peut être améliorée de façon plus ou moins nette, par la présence d'habitats semi-naturels en bordure de parcelles : Bianchi *et al.* (2006) notent une augmentation de la présence d'auxiliaires lorsque la quantité d'habitats non cultivés augmente dans le paysage, et ce dans 74% des études analysées. L'effet sur les ravageurs est moins évident : la pression des ravageurs est réduite dans 45% des cas, augmentée dans seulement 15% des cas, mais dans 40% des cas aucun effet n'a pu être mis en évidence. Toutefois, plusieurs synthèses bibliographiques et méta-analyses montrent que l'augmentation de la richesse du milieu en ennemis naturels favorise le contrôle biologique des ravageurs dans les systèmes agricoles (Halaj et Wise, 2001; Letourneau *et al.*, 2009). Lorsqu'un champ est bordé d'espaces semi-naturels, le parasitisme des ravageurs est amélioré à proximité de cet habitat plus qu'au centre du champ (Médiène *et al.*, 2011). Les cultures intermédiaires peuvent permettre une augmentation des prédateurs généralistes, surtout si leurs résidus sont laissés en mulch de surface, mais leur effet sur les ravageurs est très variable suivant les espèces de couverts et de ravageurs considérés (Justes *et al.*, 2012). La présence de couvert en association avec la culture d'intérêt permet aussi de réduire la pression des ravageurs, avec des résultats variables (Médiène *et al.*, 2011; Justes *et al.*, 2012), et l'association de blé avec le pois permet de réduire les dégâts de pucerons vert sur pois (Bedoussac *et al.*, 2012).

Plusieurs études montrent que l'utilisation de plantes de couverture en interculture et/ou en association avec la culture d'intérêt permet le contrôle des adventices (Médiène *et al.*, 2011; Justes *et al.*, 2012), avec une efficacité dépassant régulièrement les 90% dans les études analysées par Justes *et al.* (2012).

En agriculture biologique, un meilleur contrôle biologique des bioagresseurs peut se traduire en une stabilisation des rendements dans le temps ou en une augmentation de la production.

1.3.2.1.2 Gestion des ressources abiotiques pour la nutrition des plantes

Une meilleure valorisation des ressources trophiques du milieu et des interactions biologiques peut apporter des alternatives à l'utilisation d'engrais pour la nutrition des plantes. En voici quelques exemples :

- les légumineuses permettent la fixation d'azote atmosphérique
- les cultures intermédiaires pièges à nitrate (CIPAN) limitent les pertes d'azote par lixiviation, de 20 à 90% par rapport à un sol nu suivant les conditions pédoclimatiques. L'azote capté est restitué lors de leur minéralisation, mais elles génèrent un coût supplémentaire pour l'achat des semences pouvant aller de 14 à 60 €/ha (Justes *et al.*, 2012).
- les engrais verts et les cultures intermédiaires laissées sur place stimulent l'activité biologique du sol et libèrent des éléments qui ne seraient pas accessibles pour d'autres cultures (Védie, 2005)
- l'agroforesterie réduit les fuites d'azote hors du système (Dupraz et Liagre, 2008; Dougherty *et al.*, 2009; Liagre *et al.*, 2012), mais l'effet de la présence des arbres sur la fertilité n'est pas visible avant 15 ou 20 ans (Liagre, communication personnelle, 17 mai 2013 ; Dupraz, communication personnelle, 7 juin 2013).
- la disponibilité du phosphore peut être améliorée au moyen de cultures intermédiaires (Rick *et al.*, 2011) et d'arbres agroforestiers (George *et al.*, 2002).

Les cultures associées permettent une amélioration de la production (quantité ou qualité) en conditions de ressources limitantes. Par exemple, la teneur en protéines du blé dur est améliorée par la culture en association avec une légumineuse (Bedoussac et Justes, 2010).

1.3.2.1.3 Economie d'énergie

Des économies d'énergie peuvent être réalisées en maximisant les processus écologiques. Ainsi, le semis direct, qui consiste à supprimer le travail du sol dans les situations l'autorisant, permet des économies énergétiques importantes, soulignées par plusieurs auteurs. Pour Kumar *et al.* (2013), le semis direct augmente l'efficacité énergétique de 13% et réduit significativement la consommation énergétique par rapport au labour. Schwarz (2013) conclut qu'une réduction par deux de la consommation énergétique est possible grâce à l'agriculture de conservation par rapport au labour, mais ces résultats restent très dépendants des conditions climatiques et de la culture. Les systèmes sans travail du sol consomment 50 à 80% de carburant en moins que les systèmes de travail intensif (Huggins et Reganold, 2008, in Stavi et Lal, 2013). Toutefois, il ne faut pas oublier que l'arrêt ou la diminution du travail du sol peut entraîner une compaction du sol, au moins les premières années (Peigné *et al.*, 2012). Le semis direct n'a pas les mêmes effets dans toutes les situations (notamment sur les sols limoneux qui se compactent naturellement), et l'instauration d'un nouvel équilibre, où l'activité biologique remplace le travail du sol, demande plusieurs années.

La réduction d'apport d'intrants, notamment azotés, réduit la consommation d'énergie indirecte sur la ferme. En agriculture biologique, le coût énergétique de la production d'une tonne de farine de plumes hydrolysées est estimé à 1 749 MJ pour sa transformation, et 1 946 MJ supplémentaires pour le transport (Pelletier, 2008).

Enfin, la production d'énergie grâce à des cultures énergétiques ou l'agroforesterie (plaquettes de bois par exemple) sont des moyens d'améliorer le bilan énergétique de l'exploitation.

Cependant, peu d'études permettent de quantifier l'impact énergétique de changement de pratiques telles que l'introduction de cultures intermédiaires ou d'agroforesterie.

1.3.2.1.4 Temps de travail

L'appréciation de l'impact de la mise en place de l'agroécologie sur le temps de travail est délicate. Certaines pratiques vont permettre un gain de temps considérable, notamment la suppression du labour, fort consommateur de temps. A l'inverse, d'autres vont demander du travail supplémentaire. La mise en place et la destruction d'une culture intermédiaire demandent 0,6 à 2,2 heures supplémentaires par hectare (Justes *et al.*, 2012). L'agroforesterie demande également du travail supplémentaire pour l'entretien des lignes d'arbres et des bandes enherbées, la taille, l'élagage et l'éclaircissage : l'entretien d'une parcelle de frênes plantés à une densité de 50 arbres/ha demande entre 2 et 4 h/ha/an (Dupraz et Liagre, 2008).

1.3.2.2 Freins au développement de l'agroécologie

1.3.2.2.1 Manque de connaissances des interactions biologiques et variabilité de réponse

Les processus écologiques des interactions biologiques et leurs réponses aux changements de pratiques agricoles sont encore trop peu connus. Les données qualitatives existent, mais les données quantitatives précises sont encore peu nombreuses (Médiène *et al.*, 2011) et souvent contradictoires comme le montre l'étude de Bianchi *et al.* (2006) sur la pression des ravageurs en fonction de la complexité paysagère et des habitats non cultivés.

Les effets des pratiques de gestion varient suivant les espèces concernées : l'utilisation de cultures intermédiaires peut aider au contrôle des nématodes phytoparasites, cependant des résultats très variables apparaissent suivant l'espèce de CI utilisée et l'espèce de nématode étudiée (Justes *et al.*, 2012). De même, Matson *et al.* (1997) soulignent qu'il est difficile de prévoir l'effet d'une augmentation de la diversité spécifique des cultures sur les insectes et maladies. L'association de pois et blé dur en bio réduit les populations du puceron du pois mais n'a pas d'effet sur les sitones (Bedoussac *et al.*, 2012). La variabilité des résultats s'explique par la grande diversité des interactions et mécanismes en jeu, notamment concernant la biologie et les interactions entre ravageurs et plantes hôtes.

De plus, les études portent généralement sur l'impact du changement d'une pratique, et rarement sur plusieurs simultanément, or il existe probablement des interactions entre les pratiques (Médiène *et al.*, 2011). Dans le cas de modifications de l'ensemble du système de culture, c'est-à-dire de plusieurs pratiques de gestion simultanément (rotations, cultures intermédiaires, gestion des abords de parcelles, travail du sol, etc.), les évolutions des interactions biologiques sont encore plus difficilement prévisibles. Il est aussi probable que des effets contradictoires soient observés, nécessitant la définition de priorités.

1.3.2.2.2 Effets antagonistes, effets indésirables et compromis

Les processus écologiques, services écosystémiques et pratiques agroécologiques n'ont que très rarement un impact uniquement positif. Zhang *et al.* (2007) expliquent qu'un même processus peut résulter en un service ou un dis-service suivant le contexte. Ils citent l'exemple des arbres dans le paysage qui rendent un service écologique en Australie en augmentant l'infiltration de l'eau alors que leur transpiration qui limite le rechargement des réserves hydriques du sol est un dis-service en Afrique du sud.

Les pratiques agroécologiques permettent d'améliorer certains services écologiques mais peuvent aussi avoir des effets secondaires. Par exemple, le couvert végétal est un outil très important de contrôle des adventices en semis direct (de Tourdonnet *et al.*, 2012), mais ce couvert peut fortement concurrencer la culture à son tour (Peigné *et al.*, 2012). De même, l'utilisation des propriétés allélopathiques des cultures intermédiaires pour la bio-fumigation contribue à réduire la pression de certains ravageurs ou maladies telluriques, mais affecte aussi les champignons mycorhiziens impliqués dans la nutrition des cultures (Justes *et al.*, 2012). Un couvert végétal, suivant son C/N peut fournir de l'azote lors de sa minéralisation, ou au contraire mobiliser l'azote du sol et créer ainsi une faim d'azote sur la culture. Enfin, les pratiques visant le contrôle d'un ravageur peuvent favoriser le développement d'un autre (Médiène *et al.*, 2011).

La mise en œuvre des principes de l'agroécologie sur une exploitation demande de réaliser des compromis, de choisir les pratiques qui pourront offrir le maximum d'impacts positifs pour un minimum d'impacts négatifs. Les choix seront spécifiques à chaque situation, en fonction des points à améliorer et des risques acceptables ou non. Ces compromis et choix sont d'autant plus difficiles à réaliser que les références sur l'impact de changement de pratiques ne sont pas toujours prévisibles dans différents contextes agronomiques.

1.3.2.2.3 Difficultés d'application sur la ferme et technicité requise

La mise en œuvre de l'agroécologie demande une grande technicité et surtout une grande connaissance, souvent empirique, de l'impact des différentes pratiques. Jack de Lozzo, agriculteur dans le Gers, utilise les couverts, les associations de cultures, le semis direct ou le travail très simplifié et l'agroforesterie depuis 4 ans, Il constate que 4 ans ne sont pas suffisants pour maîtriser ces techniques et que cette année encore il a commis des erreurs dans sa gestion, conduisant à un enherbement excessif (Jack de Lozzo, communication personnelle, 13 mai 2013). La pratique de l'agroécologie demande une certaine acceptation du risque et une solidité financière permettant de faire face aux revers possibles. Elle s'inscrit dans une vision à long terme sans rechercher de maximisation immédiate du profit.

L'implantation des cultures intermédiaires n'est pas possible dans toutes les situations : en cas de récolte trop tardive de la culture précédente (notamment pour le maïs), les cultures intermédiaires ne sont pas efficaces (Justes *et al.*, 2012). Leur utilisation peut compromettre fortement la préparation des sols à fort taux d'argile nécessitant un travail précoce à l'automne, mais elles peuvent se substituer à la réalisation d'un faux semis. Pour que cette technique soit efficace, il faut que les dates d'implantation et destruction de la CI correspondent avec les périodes de sensibilité au faux semis des adventices visées (Justes *et al.*, 2012).

Certaines pratiques demandent également du matériel spécifique, à l'instar du semis direct sous couvert nécessitant souvent un semoir spécial, dont le coût n'est pas négligeable. D'autres demandent des savoir-faire particuliers, tels que la taille et l'égamage des arbres en agroforesterie.

Le poids des filières peut aussi freiner l'adoption de pratiques agroécologiques. Par exemple, les cultures associées sont peu acceptées par les organismes stockeurs car elles sont difficilement valorisables en alimentation humaine à cause des difficultés de tri et du risque élevé d'impuretés (Bedoussac *et al.*, 2012). Les débouchés pour les cultures de diversification sont rares. La luzerne n'est pas valorisable en l'absence d'élevage et d'usine de déshydratation dans la région. Les cultures de niche sont potentiellement intéressantes mais risquées car le marché peut rapidement être saturé.

Enfin, il existe aussi des freins réglementaires et les incitations financières sont rares :

- l'agroforesterie a longtemps été pénalisée car la présence d'arbres dans les parcelles supprimait l'accès aux aides, cette réglementation s'est améliorée au cours de la dernière décennie (Liagre *et al.*, 2012).
- Le versement des aides de la politique agricole commune est soumis à la déclaration de la culture principale sur chaque parcelle, sans qu'il n'y ait de statut prévu pour les cultures associées. L'agriculteur ne sait pas, à la date où il doit faire sa déclaration, quelle culture de l'association sera majoritaire dans sa parcelle et s'expose à des pénalités en cas de contrôle.

1.3.2.3 Conclusion

L'agroécologie présente de nombreux intérêts agronomiques, écologiques et économiques, mais les réponses des interactions biologiques sont très variables suivant le contexte. Des études par expérimentation et modélisation sont nécessaires pour améliorer les connaissances sur le sujet. L'agroécologie semble être un moyen d'améliorer la durabilité de l'agriculture, y compris de l'agriculture biologique. Toutefois, il est important de raisonner la mise en place de l'agroécologie au cas par cas en fonction des objectifs visés et de la situation de départ.

1.4 Objectif du stage et problématique

L'agroécologie apparaît comme un levier d'action intéressant pour le CREAB MP qui souhaite faire évoluer son système de production vers plus de durabilité et d'innovation. Parallèlement, des questions persistent, notamment sur les possibilités d'autonomie en azote dans un système sans élevage. Il est nécessaire d'acquérir des connaissances complémentaires sur les conséquences des pratiques agroécologiques et de leurs combinaisons, en particulier sur l'utilisation des couverts et la réduction du travail du sol.

Dans ce contexte, le CREAB MP souhaite réaliser une intensification agroécologique de la ferme de la Hourre dans un double objectif d'amélioration de la durabilité et d'acquisition de références. Afin de maximiser les chances de réussir cette intensification agroécologique, il a été décidé de réaliser une étude pour construire des scénarios de développement de l'agroécologie sur la ferme expérimentale de la Hourre. La question à laquelle cette étude cherche à répondre est « **Comment appliquer les principes de l'agroécologie sur la ferme expérimentale de la Hourre afin d'améliorer sa durabilité ?** »

Il s'agit à la fois de définir des pratiques à mettre en œuvre sur chacune des parcelles et d'avoir une réflexion à l'échelle de l'exploitation sur l'aménagement et la gestion d'habitats semi-naturels. De plus, les scénarios proposés doivent permettre la poursuite des essais analytiques actuels réalisés sur le site et assurer le maintien voire l'amélioration de la production. Ceci demande de travailler à plusieurs échelles spatiales, que sont la parcelle et l'exploitation agricole. Peu de méthodologies existent dans le domaine, il a donc été choisi de construire une démarche propre à cette étude. La possibilité de répondre aux attentes à l'aide de cette démarche sera discutée.

Enfin, cette étude sera complétée par des propositions pour le suivi du dispositif dans un but d'évaluation des systèmes mis en place et d'acquisition de références en agroécologie.

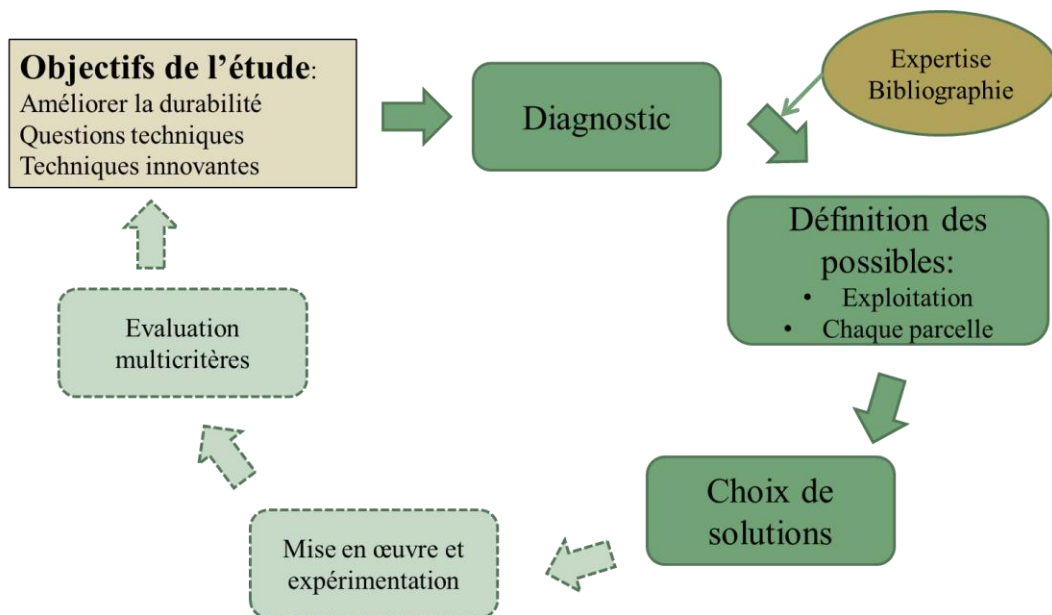


Figure 1: Démarche adoptée pour proposer des scénarios de développement de l'agroécologie sur la ferme de la Hourre. Les éléments en pointillés ne font pas l'objet de cette étude mais sont prévus dans son prolongement.

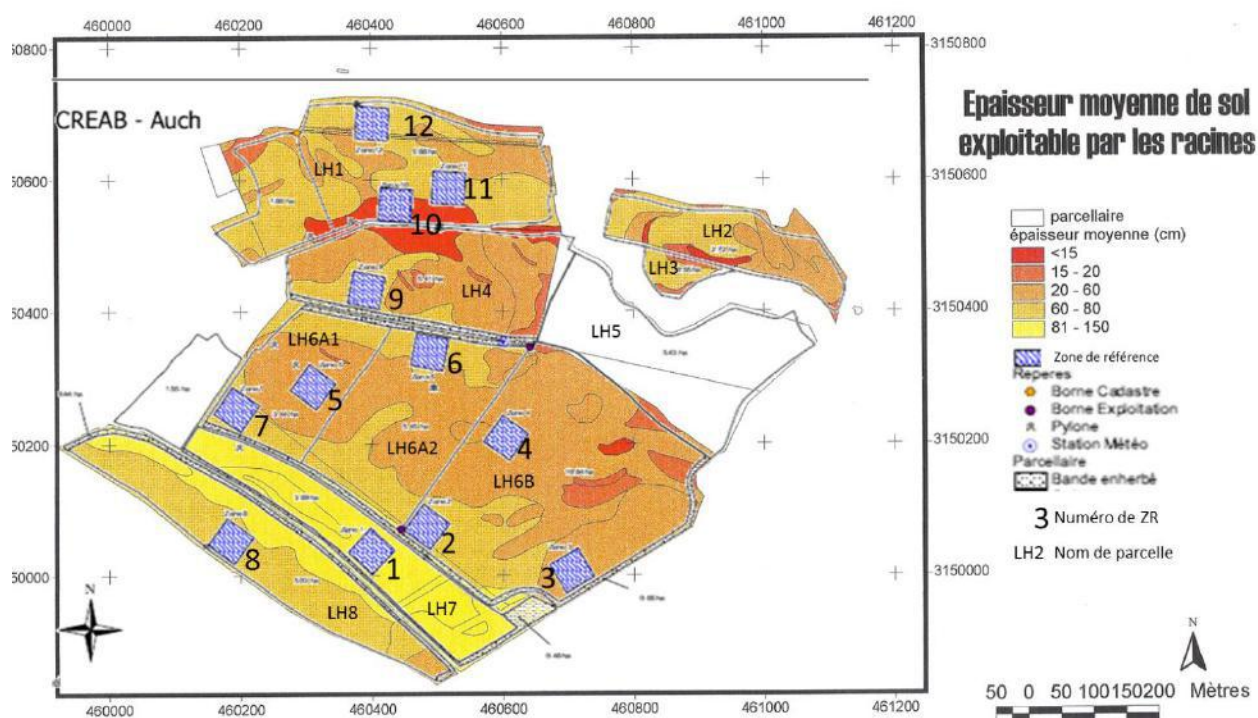


Figure 2: Carte d'épaisseur moyenne de sol exploitable par les racines et localisation des zones de référence, d'après CACG laboratoire agronomique, 2001 et Barthes, 2007.

2 ***Matériels et méthodes***

Tableau 1: Description des données utilisées pour le diagnostic

Donnée	Fréquence de mesure	Méthode de calcul ou de dosage	Remarques
Biomasse produite	Au stade épi 1cm pour les céréales, à la floraison et à la récolte pour toutes les cultures et avant broyage pour le trèfle violet	Une mesure unique sur un échantillon composé de 9 prélèvements	Mesure sur les grains d'une part, les tiges et feuilles d'autre part
Teneur en N et P	Idem	Méthode Dumas Une mesure unique sur un échantillon composé de 9 prélèvements	
Azote (N) et Phosphore (P) absorbés	Idem	Biomasse x teneur Une mesure unique sur un échantillon composé de 9 prélèvements	
Indice de nutrition azotée (INN)	Sur chaque culture à la floraison	Teneur en N de la plante/teneur optimale Une mesure unique sur un échantillon composé de 9 prélèvements	Le calcul de la teneur optimale dépend de la culture Détails en annexe 2
Indice de nutrition phosphatée (INP)	Sur chaque culture à la floraison	Teneur en P de la plante/teneur optimale Une mesure unique sur un échantillon composé de 9 prélèvements	La teneur optimale en P dépend de la teneur en azote, formule validée pour les prairies. Détail en annexe 2
Mesure d'humidité du sol et d'azote minéral	Sur chaque culture en novembre, à la sortie de l'hiver (mars-avril) et à la récolte (juillet)	Une mesure unique sur un échantillon composé de 9 prélèvements	La mesure à la récolte n'est réalisée qu'après les cultures récoltées en juillet.
Mesure du salissement	Sur chaque culture au stade épi 1cm, épiaison/floraison et à la récolte depuis 2012	Comptage au cadre (épi 1cm), méthode Barralis (floraison) et note de satisfaction (récolte)	Méthode en cours de perfectionnement dans le cadre du programme DEPHY AB.
Carbone organique	Tous les 5 ans (2002, 2007 et 2012)		
Azote organique	Idem		
Matière organique	Idem	$MO = 1,72 \times C_{org}$	
C/N	Idem	C_{org} / N_{org}	
P ₂ O ₅ Olsen	Idem	Méthode Olsen	

2.1 La démarche employée

La démarche utilisée est présentée en Figure 1. L'objectif étant de construire des scénarios d'intensification agroécologique qui permettent d'améliorer la durabilité de la ferme de la Hourre, il a été choisi de commencer par réaliser un diagnostic agronomique, écologique et économique de la situation actuelle. Ce diagnostic permet d'identifier les facteurs limitants et leur hiérarchie, puis en conséquence de déterminer les objectifs à atteindre pour améliorer la durabilité sur chacune des parcelles. D'autre part, une analyse des connaissances bibliographiques et d'expertise est nécessaire afin d'identifier les pratiques réalisables sur l'exploitation de la Hourre, c'est-à-dire de définir les stratégies et pratiques possibles. Enfin, le choix des solutions et l'élaboration des scénarios sont effectués par croisement de l'ensemble des possibles avec les objectifs fixés, en tenant compte des contraintes du CREAB MP et de l'exploitation. Les scénarios ainsi construits se veulent être des ensembles cohérents de modifications stratégiques qui concernent à la fois le découpage parcellaire, l'aménagement des abords de parcelle et la conduite de chacune des parcelles dans le cadre de rotations spécifiques par groupe de parcelles ayant des comportements proches.

Les connaissances d'expertise ont été recueillies au travers d'entretiens, de rencontres et de visites de sites. La liste des personnes sollicitées est fournie en annexe 1.

2.2 Réalisation du diagnostic agronomique, écologique et économique :

2.2.1 Origine des données utilisées

Le diagnostic à l'échelle de la parcelle a été effectué à partir des données de suivi de la fertilité relevées sur 12 zones de référence mises en place depuis 2002. Ces zones de référence (ZR) sont de grandes placettes de 50x50m sur lesquelles est réalisé le suivi à long terme de l'évolution de la fertilité depuis la conversion du domaine en agriculture biologique. Elles sont réparties sur 7 parcelles et présentent chacune des caractéristiques de sol, profondeur, topologie et orientation différentes (

Figure 2).

Sur ces zones de référence, un ensemble de mesures de suivi de la culture est effectué chaque année à plusieurs stades : biomasse, teneur en éléments minéraux des plantes, suivi des adventices, etc. Ces données sont complétées par des mesures de fertilité du sol (analyse physico-chimique) réalisées tous les 5 ans, et des mesures d'azote minéral du sol à différentes périodes de l'année. Les données utilisées pour la réalisation du diagnostic sont présentées dans le Tableau 1.

Ces données ont été analysées essentiellement à l'aide de statistiques simples (moyenne, écart type, etc.). Les analyses plus élaborées sont présentées par la suite.

Afin de compléter le diagnostic, les résultats de l'étude pédologique réalisée en 2000 et de l'analyse énergétique menée en 2008 au CREAB ont été utilisés.

Une journée de prospection sur le domaine de la Hourre a permis de collecter les informations nécessaires à la construction d'une carte des habitats écologiques existants.

Enfin, le calcul des marges brutes et semi-nettes a nécessité l'utilisation de nombreuses données dont l'origine est résumée dans le Tableau 2.

2.2.2 Diagnostic à l'échelle de l'exploitation

2.2.2.1 Contexte pédoclimatique

La description des sols de l'exploitation s'appuie sur les résultats de la campagne de caractérisation des sols conduite en 2000 sur l'ensemble de l'exploitation. Elle combine trois approches complémentaires : l'utilisation d'une série de photographies aériennes, une étude pédologique et le suivi d'une culture de tournesol mise en place sur toute l'exploitation.

Les données climatiques utilisées proviennent de la station Météo France située à 5 km de l'exploitation (station d'Auch Lamothe) et, depuis 2008, d'une station météo installée sur la ferme.

Tableau 2: Origines des données utilisées pour le calcul des marges

Type de données	Origine
Rendement, taux de protéine	Données mesurées sur les zones de référence
Quantité d'intrants par hectare (densité de semis, fertilisation)	Données calculées à partir du réglage du semoir et des variations de stock
Coût unitaire des fertilisants	Données fournies par Agribio Union
Coût unitaire des semences et inoculum	Relevé de factures
Assurances et coût de la récolte	Relevé de factures
Prix de vente des productions :	Blé : grille de prix en fonction du taux de protéines (fourni par Agribio Union) Autres productions : prix réel de vente (relevé sur les factures)
Primes (couplées, découplées et aide à l'AB)	Relevé des bordereaux envoyés par la DDT
Passage d'outils sur la parcelle	Enregistrement des travaux réalisés
Coût forfaitaire de passage d'outils et tracteurs	Barème d'entraide 2012
Consommation de carburant par passage	Mémoire d'Adrien Pelletier (Pelletier, 2008)

Tableau 3: Nombre de mesures d'azote minéral à disposition pour chaque précédent

Culture précédente	Nombre de mesures
Féverole	18
Blé	12
Blé + trèfle violet	11
Soja	8
Orge + trèfle violet	4
Trèfle violet	4

2.2.2.2 Rotation et assolement

Afin de visualiser les périodes de sol nu pendant lesquelles une culture intermédiaire pourrait être envisagée, une frise chronologique d'occupation du sol a été construite pour chacune des parcelles. Un code couleur permet de différencier les familles de cultures et les cultures de printemps ou d'été par rapport aux cultures d'automne. Il met aussi en évidence les périodes de sol nu de plus de deux mois.

2.2.2.3 Production

A partir des mesures de biomasses produites (grains, et parties aériennes hors grains), les productions moyennes par culture et/ou par zone de référence ont été calculées. Les productions des différentes parcelles ont été comparées grâce au cumul de biomasse. Concernant les parcelles de vallées, ce cumul est effectué sur toutes les années de 2002 à 2012. En coteaux, les données sont disponibles pour toutes les cultures seulement sur 7 années : 2003, 2005, 2006, 2007, 2009, 2011 et 2012. Enfin, la ZR9 n'a pas pu être prise en compte par manque de données du fait de l'historique de la parcelle (un blé broyé non récolté et 3 ans de luzerne).

2.2.2.4 Effet du précédent sur l'azote minéral

La quantité totale d'azote minéral contenue sur l'ensemble du profil a été calculée en additionnant les quantités obtenues sur chacun des horizons (0-30 cm ; 30-60 cm ; 60-90 cm ; 90-120 cm). Lorsque le prélèvement n'a pas pu être fait sur un horizon (car le sol est trop sec ou trop dur), il a été considéré que les racines ne peuvent pas non plus pénétrer cet horizon et la quantité d'azote minéral disponible est donc considérée comme nulle.

L'effet de la culture précédente sur la quantité d'azote minéral présent à l'automne a été ensuite étudié à l'aide d'une analyse de variance (au seuil de 5%) et du test de comparaison de moyenne de Newman-Keuls, réalisé sous le logiciel R. Seules les cultures précédentes contenant des légumineuses et le blé (témoin sans légumineuse) ont été pris en compte dans cette analyse. Le Tableau 3 résume, pour chaque précédent comparé, le nombre de mesures à disposition. Malgré un nombre de mesures variable, l'analyse des résidus a permis de vérifier les hypothèses de validité du test d'analyse de variance.

2.2.2.5 Energie

La partie énergie du diagnostic est construite à partir du mémoire d'Adrien Pelletier (2008): « Analyse énergétique de systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage en Région Midi-Pyrénées », qui compare les performances énergétiques de 7 successions culturales du CREAB MP et 44 successions culturales issues de 19 exploitations de Midi-Pyrénées en grandes cultures biologiques. Les données du CREAB MP correspondent à la période 2000 – 2006 et celles des exploitations concernent des cultures récolées entre 2004 et 2007.

2.2.2.6 Cartographie des habitats

La cartographie des habitats à l'échelle de l'exploitation a été réalisée en mai 2013 à l'aide de la méthode EBONE élaborée sur la base de Bunce *et al.* (2008), décrite dans l'annexe 3. Chaque habitat est une zone recouverte d'une végétation homogène ; un changement de végétation est considéré comme un changement d'habitats. Les habitats sont localisés sur une photographie aérienne puis décrits en distinguant les habitats surfaciques (qui recouvrent une surface d'au moins 400 m² et 5 m de large) et les habitats linéaires (qui mesurent au minimum 30 m de long et de largeur comprise entre 50 cm et 5 m).

Les habitats surfaciques sont décrits à l'aide de codes permettant de retranscrire :

- la catégorie d'habitat dominante (GHC : *General Habitat Category*),
- les principales caractéristiques du sol (humidité, acidité et type de sol) (*Global environment qualifier* et *Site qualifier*),
- les pratiques de gestion de l'habitat : fréquence et type de pratique (*Management qualifier*),
- le niveau d'influence de l'agriculture sur l'habitat (*Farmland class*),
- la liste de toutes les catégories d'habitat présentes et leur proportion relative.

Tableau 4: Teneurs en carbone utilisées pour le calcul du bilan

Culture	Teneur en C des grains
Tournesol ⁽¹⁾	0,60
Sorgho ⁽¹⁾	0,46
Soja ⁽¹⁾	0,52
Céréales et protéagineux ⁽²⁾	0,42
Paille d'orge	0,43 (dans les pailles)

- ⁽¹⁾Teneur estimée à partir d'analyses réalisées sur des essais à l'INRA de Toulouse sur 2 ou 3 ans suivant les cultures. ⁽²⁾Communication personnelle Eric Justes

Enfin, la description est complétée par le nom et la proportion relative des deux espèces dominantes au sein de chaque catégorie d'habitats.

Les habitats linéaires sont décrits uniquement par le type d'habitat (bande enherbée, ligne d'arbres, etc.) et le niveau d'influence de l'agriculture sur l'habitat. L'espèce dominante est renseignée lorsqu'une seule espèce est majoritairement présente (plus de 70% de couverture).

Une fois la localisation et la description des habitats réalisés sur le terrain, toutes les informations recueillies ont été enregistrées sous système d'information géographique (SIG) à l'aide du logiciel ArcGIS. Ce passage sous SIG a permis l'élaboration de cartes et le calcul des distances et surfaces occupée par les habitats semi-naturels.

La qualité en tant que réservoir d'auxiliaires des haies plantées (dont nous connaissons la composition exacte) a été estimée en analysant les complémentarités de hauteur, de période de floraison et de durée de présence du feuillage en hiver.

2.2.3 Diagnostic à l'échelle de la parcelle

Le diagnostic par parcelle porte sur chacune des parcelles suivies grâce à une ou plusieurs zones de référence. Les parcelles LH 2, LH 3, LH 5 (jachère) et LH 9 ne sont donc pas étudiées ici.

2.2.3.1 Evolution de la teneur en eau du sol à différentes profondeurs, estimation de l'enracinement et de la réserve utile

Les teneurs en eau utilisées sont issues des mesures d'humidité réalisées lors des dosages d'azote minéral chaque année à l'automne (novembre ou décembre), en sortie d'hiver (mars ou avril) et à la récolte (juillet, uniquement sur les cultures récoltées en juin ou juillet et occasionnellement en septembre après tournesol). Les prélèvements sont effectués sur chaque zone de référence et sur quatre horizons : 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm, 90-120 cm. Cependant, suivant les conditions d'humidité et les types de sol, certains prélèvements en profondeur n'ont pas toujours pu être réalisés. Pour des questions de disponibilité du matériel, certaines années les mesures n'ont pas pu être faites sur toutes les ZR.

En réalisant la moyenne pluriannuelle pour une espèce et une zone référence données à chaque période, nous pouvons construire des graphiques permettant de visualiser l'évolution de la teneur en eau du sol à différents horizons au cours de la culture. Ceci permet ensuite d'estimer quels sont les horizons qui participent à la fourniture d'eau pour les cultures, donc d'obtenir une approximation de la profondeur d'enracinement. Il a été choisi de considérer qu'un horizon participe à la fourniture hydrique de la plante si le pourcentage d'humidité entre la sortie hiver et la récolte a diminué d'au moins 2 points (soit une perte d'au moins 2g d'eau par 100g de sol).

A partir de ces mêmes données, la réserve utile (RU) a pu être estimée : pour chaque horizon et chaque ZR, on considère que l'humidité à la capacité au champ (H_{cc}) correspond à l'humidité maximale rencontrée (toutes années et cultures confondues). L'humidité au point de flétrissement est supposée égale à la moitié de l'humidité à la capacité au champ, donc la quantité d'eau au point de flétrissement est égale à la moitié de la quantité d'eau à la capacité au champ. La RU est la différence de quantité d'eau entre la capacité au champ et le point de flétrissement, donc elle est aussi égale à la moitié de la quantité d'eau à la capacité au champ. Pour chaque horizon, la RU de l'horizon est obtenue par le calcul suivant : $RU_{Hi} = (H_{ccHi} * D_{appHi} * e_{Hi} * 1000) / 2$, avec :

- RU_{Hi} : Réserve utile dans l'horizon i, en mm
- H_{ccHi} : Humidité à la capacité au champ de l'horizon i, en g/kg
- D_{appHi} : Densité apparente de l'horizon i, soit 0,45 pour l'horizon 0-30 cm et 0,55 pour les autres horizons, en g/cm³
- e_{Hi} : épaisseur de l'horizon i (soit 0,3 m), en m

La RU totale est obtenue en sommant les RU de chacun des horizons explorés par les racines (ceux dont l'humidité diminue d'au moins deux points entre la sortie d'hiver et la récolte).

Tableau 5: Charges de mécanisation et de carburant par couple outil-tracteur

Outil	prix neuf (€)	charges fixes (€/an)	réparation (€/ha)	forfait outil (€/ha)	Utilisation moyenne annuelle (ha/an)	largeur (m)	temps de travail (h/ha)	Consom- mation carburant (l/ha)	tracteur associé	forfait horaire tracteur (€/h)	Forfait tracteur (€/ha)
Bineuse	10200	981	0,8	20,42	50	3	0,67	8,04	Renault	12,88	8,6296
Broyeur	8500	1194	3,6	12,78	130	3,2	0,67	14,74	Claas	13,46	9,02
Charrue	12500	1334	6,8	24,59	75	1,4	1,33	27,93	John Deere	15,29	20,34
Cover-crop	9500	914	1,8	20,08	50	2,5	0,5	10,5	Claas	13,46	6,73
Cultivateur	4100	394	1,2	9,08	50	4	0,5	10,5	John Deere	15,29	7,65
Déchaumeur à ailettes	4100	394	1,2	7,77	60	3,8	0,33	9,9	John Deere	15,29	5,05
Houe rotative	14000	120	1,2	8,70	16	4,2	0,25	2	Claas	13,46	3,37
Epandeur à engrais	3400	363	0,3	7,56	50	12	0,25	3	Claas	13,46	3,37
Herse étrille 12m	10300	1318	0,9	19,73	70	12	0,2	2,4	Claas	13,46	2,69
Rouleau cultipacker	7450	717	0,6	14,94	50	6	0,33	3,96	Claas	13,46	4,44
Semoir combiné	28550	3444	4,5	61,90	60	4	0,67	16,75	John Deere	10,5	7,04
Semoir monograine	10400	1110	1,8	15,68	80	4,2	1	12	Claas	13,46	13,46
Vibroculteur	5450	697	1,2	5,85	150	4	0,67	12,6	Claas	13,46	20,09
Décompacteur	4900	471	5,7	12,43	70	3	1	24	John Deere	15,29	15,29
Herse rotative	16500	2111	3,6	24,71	100	4	0,6	15	John Deere	15,29	25,48

Sources :

- prix neuf, charges fixes et réparations issus du barème d'entraide 2012 de l'Orne
- utilisation moyenne annuelle (sur la ferme de la Hourre, ne tient pas compte de l'utilisation sur d'autres fermes), largeur de l'outil, temps de travail et consommation de carburant issus de Pelletier (2008).
- Forfait horaire du tracteur issu du barème d'entraide 2012 de la chambre régionale d'agriculture du Nord - Pas de Calais.

2.2.3.2 Calcul du bilan entrée – sortie de carbone

Calcul des entrées de carbone :

Biomasse totale produite (aérienne et souterraine) : $BM_{tot} = \text{Biomasse aérienne} \times 1,3$

Carbone total fixé : $C_{fixé} = BM_{tot} \times 0,4$.

Dans ce carbone fixé, une partie, contenue dans les grains, est exportée, notée C_{exp} .

$C_{exp} = \text{biomasse des grains} \times \text{teneur des grains en C}$. Les valeurs de teneur en C des grains utilisées sont données dans le Tableau 4.

On peut alors calculer la part de carbone incorporée au sol (C_{inc}) : $C_{inc} = C_{fixé} - C_{exp}$

On estime que 62% du carbone incorporé est relâché dans l'atmosphère sous forme de CO_2 par minéralisation en moins d'un an (Eric Justes, communication personnelle, 23 mai 2013). La quantité totale de carbone restitué à long terme à la parcelle, $C_{humifié}$, est donc calculée comme suit : $C_{humifié} = (1-0,62) \times (C_{inc})$

Calcul des sorties de carbone et évolution du stock de carbone du sol :

Ne connaissant pas la part d'humus minéralisée annuellement, le calcul a été réalisé pour trois hypothèses différentes, avec des taux de minéralisation annuelle respectif de 1%, 2% et 3%. On obtient ainsi, pour l'hypothèse de minéralisation de 1%, $C_{minéralisé} = 0,01 \times C_n$ (où C_n symbolise le stock de carbone présent dans le sol l'année n et $C_{minéralisé}$ la part de carbone minéralisée, donc sortie du stock).

Le stock de carbone considéré minéralisable (sur lequel le coefficient de minéralisation est appliqué) a été calculé initialement à partir de la teneur en carbone organique du sol mesurée par analyse en 2002 sur l'horizon 0-30 cm. Ce stock, noté C_n pour l'année n, est ensuite actualisé avec un pas de temps annuel comme suit : $C_n = C_{n-1} + C_{humifié} - C_{minéralisé}$.

2.2.4 **Calcul des marges brutes et semi-nettes**

Les marges brutes et semi-nettes ont été calculées à l'échelle de la zone de référence afin de comparer les résultats économiques entre zones de référence en complément de l'analyse des niveaux de production et des données agronomiques. Un exemple de calcul sur une zone de référence pour une année est présenté en annexe 4.

2.2.4.1 Calcul de la marge brute

La marge brute (MB) est calculée comme suit :

$MB = \text{Produits} - \text{Charges opérationnelles}$

Avec :

- Produits = rendement aux normes $\times$ prix de vente + primes
- Charges opérationnelles = Intrants (semence, fertilisation, inoculum et semence d'engrais vert) + charges de récolte + assurances grêle

2.2.4.2 Calcul de la marge semi-nette

La marge semi-nette (MSN) est calculée comme suit :

$MSN = \text{Marge brute} - \text{charges de mécanisation} - \text{frais de carburant}$

La charge de mécanisation et les frais de carburant sont la somme des frais et charges liés à chaque passage d'outils. La charge de mécanisation et la consommation de carburant attribuée à chaque couple outil – tracteur sont présentées dans le Tableau 5.

Le coût du carburant est estimé à 0,635 €/l en 2009 et 2010 puis à 0,8 €/l en 2011 et 2012.

2.3 Méthode d'élaboration des scénarios

La première étape de constitution des scénarios est la proposition de modification du découpage parcellaire. Ensuite les aménagements d'habitats semi-naturels ont été définis, ainsi que leur mode de gestion. Enfin, la dernière étape concerne la gestion des parcelles : définition de rotation, choix de cultures intermédiaires et proposition d'itinéraires de travail du sol.

2.3.1 Habitats semi-naturels

La méthode utilisée pour proposer l'aménagement et la gestion d'habitats semi-naturels s'inspire de la démarche employée pour l'aménagement agroécologique du site INRA d'Epoisses (Jean Roger-Estrade, communication personnelle, 25 avril 2013) : définition dans un premier temps des aménagements de longue durée (haies, agroforesterie) puis dans un second temps des aménagements de durée de vie moyenne (bandes enherbées, bandes fleuries). Pour chaque aménagement, la première étape consiste à le positionner sur la carte, la seconde à définir sa composition botanique et la troisième à proposer des règles de gestion.

2.3.1.1 Aménagements de longue durée

La localisation des aménagements de longue durée est raisonnée de manière à assurer la continuité des habitats, à créer un réseau dense autour des parcelles et à limiter l'érosion.

Afin de réduire le temps de prospection sur les espèces arborées, le choix a été restreint aux espèces décrites dans Baudry *et al.* (2000), retenues par Minelli (2012) ou déjà plantées à la Hourre par Arbres et Paysage 32. Les critères retenus pour le choix des espèces sont les suivants :

- l'adaptation aux conditions pédoclimatiques locales,
- les périodes de floraison afin d'avoir des fleurs le plus longtemps possible, donc du nectar et du pollen permettant d'attirer et de nourrir les insectes (de nombreux auxiliaires consomment du nectar ou du pollen à au moins un stade de leur vie),
- la présence d'arbres au feuillage marcescent et sempervirent afin d'avoir du feuillage l'hiver, qui offre des sites d'hivernation à de nombreux insectes,
- l'alternance d'arbres de hauteurs différentes, permettant une plus grande diversité d'habitats,
- la diversité et l'abondance de l'entomofaune attirée.

Enfin, les espèces présentant peu d'intérêt ou un inconvénient majeur ont été écartées. Il s'agit par exemple d'espèces attirant peu de faune auxiliaire, ou d'espèces hôtes du puceron noir de la fève.

La caractérisation de l'entomofaune attirée a été construite à partir de Baudry *et al.* (2000), Minelli (2012), et des observations personnelles de Jean-Pierre Sarthou (communication personnelle, 29 juillet 2013). Les autres caractéristiques des espèces sont issues de la Flore forestière française (Rameau, 1994).

2.3.1.2 Aménagement de moyenne durée

Le critère principal de composition des bandes fleuries est la complémentarité des périodes de floraison. Les espèces en fleur en février – mars et entre le 15 août et le 15 septembre présentent un intérêt particulier car les fleurs sont rares à ces périodes.

2.3.2 Conduite des parcelles

Les parcelles ont été regroupées en fonction de leurs caractéristiques agronomiques et des objectifs visés. Pour chaque groupe de parcelles, des rotations sont proposées, incluant des cultures intermédiaires et des propositions concernant le labour.

Les deux règles principales de construction des rotations sont :

- chaque culture non légumineuse est précédée d'une culture légumineuse (culture de vente ou à défaut culture intermédiaire) afin d'optimiser la nutrition azotée
- l'alternance de cultures dont les périodes de semis et de récolte sont décalées afin d'interrompre les cycles de développement des adventices.

Le choix des cultures a été effectué en fonction des objectifs visés sur chaque groupe de parcelles, mais répond également à plusieurs contraintes :

- des contraintes économiques : un entretien téléphonique avec les opérateurs économiques a permis de discerner les cultures valorisables et les cultures correspondant à un marché de niche. En effet, le CREAB MP ayant un rôle de démonstration dans la région, l'introduction de cultures de diversification risque d'inciter de nombreux agriculteurs à les produire, ce qui pourrait saturer le marché.
- Des contraintes liées aux parcelles : les cultures binées sont évitées sur les parcelles à risque érosif ; le sorgho dont la récolte est tardive n'est pas préconisé sur les parcelles à hydromorphie temporaire.

Les critères pris en compte dans le choix des cultures intermédiaires sont en lien avec les objectifs ciblés sur le groupe de parcelles et la durée de l'interculture. Le choix s'appuie sur la bibliographie, essentiellement Labreuche (2011), Ghesquière et Cadillon (2012), et Bossut (2013), sur les premiers résultats des essais réalisés à l'INRA de Toulouse-Auzeville, et sur l'expertise d'Eric Justes, Jean-Pierre Sarthou, Loïc Prieur et Hélène Tribouillois.

Enfin, le choix des parcelles sans labour tient compte du risque d'érosion et des chances de réussites du non labour (réessuyage relativement rapide et adventices maîtrisées). Pour les autres parcelles, les règles de décision utilisées pour définir les périodes de labour sont les suivantes :

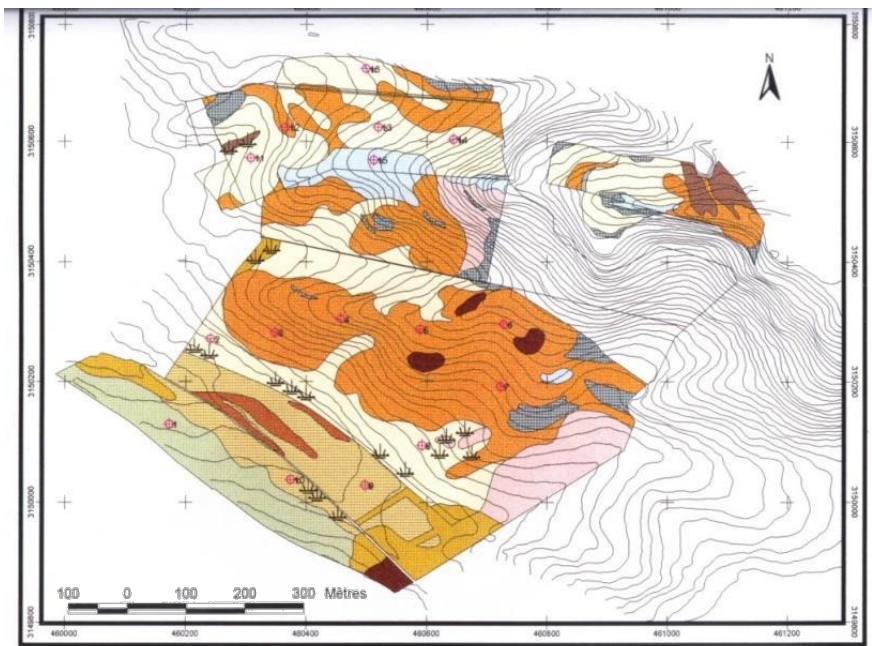
- Espacer les labours de 3 ou 4 ans pour avoir un effet optimal sur les adventices
- Utiliser systématiquement le labour après la luzerne pour en assurer la destruction
- Favoriser le labour de fin d'automne précédant un semis de printemps pour bénéficier des effets du gel – dégel et de l'humectation – dessiccation pendant l'hiver, qui permettent un meilleur éclatement des mottes argileuses.

Pour chaque parcelle, la culture de la rotation à planter pour 2014 a été choisie en fonction de la culture en place en 2013 et dans l'objectif d'avoir un assolement répondant chaque année aux contraintes de l'expérimentation.

2.4 Proposition de mesures de suivi

Deux objectifs ont permis l'élaboration de propositions pour le suivi de l'évolution de la Hourre :

- 1- Evaluer l'atteinte des objectifs : une fois que les objectifs visés sont définis, il est possible d'identifier les points à évaluer et donc les indicateurs nécessaires pour rendre compte de l'atteinte des objectifs. Certains indicateurs sont déjà utilisés à la Hourre, et leur suivi doit continuer. Il pourra aussi être nécessaire d'utiliser des indicateurs qui n'étaient pas mesurés à la Hourre auparavant, et seront à mettre en place dès la réalisation du point zéro.
- 2- Apporter des informations complémentaires : des indicateurs qui ne sont pas suivis actuellement pourraient compléter les connaissances existantes et ainsi aider à comprendre la situation actuelle de la Hourre. Ces informations contribueront aussi à la réponse aux attentes des adhérents et à l'acquisition de références en agroécologie.



échantillons 2000
 courbes de niveau (équidistance 2m)
 unités de sols :

- | | |
|--|--|
| | US 1 : Brunisols hydromorphes, colluvionés en surface, d'argile pontienne |
| | US 2 : « ACP » calcosols moyennement épais à épais, peu caillouteux, de marnes et calcaires tendres |
| | US 3 : calcosols colluviaux, épais, caillouteux, hydromorphes, à débris de toute nature en surface |
| | US 4 : calcosols moyennement épais à épais, à galets sombres acides, de marnes et calcaires tendres |
| | US 5 : calcosols moyennement épais à épais, peu caillouteux, sombres, à hydromorphie fugace |
| | US 6 : « ACS » calcosols peu épais, caillouteux, de marnes et calcaires tendres disloqués |
| | US 7 : rendosols caillouteux, de versant, de marne et calcaires tendres disloqués |
| | US 8 : « MAR » rendosols très caillouteux de sommet de versant de marne |
| | US 9 : peyrosols pierrique, calcaire, de calcaire dur |
| | US 10 : rendosols de dépôt maestrichien |
| | US 11 : calcosols fluviqes, épais, peu caillouteux, à hydromorphie de profondeur |
| | US 12 : calcosols fluviqes, épais, peu caillouteux, à horizon LA peu épais, à hydromorphie de profondeur |
| | US 13 : unités non cartographiées |

Figure 3: Carte des sols et relief du domaine de la Hourre, d'après CACG laboratoire agronomique, 2001

3 *Résultats*

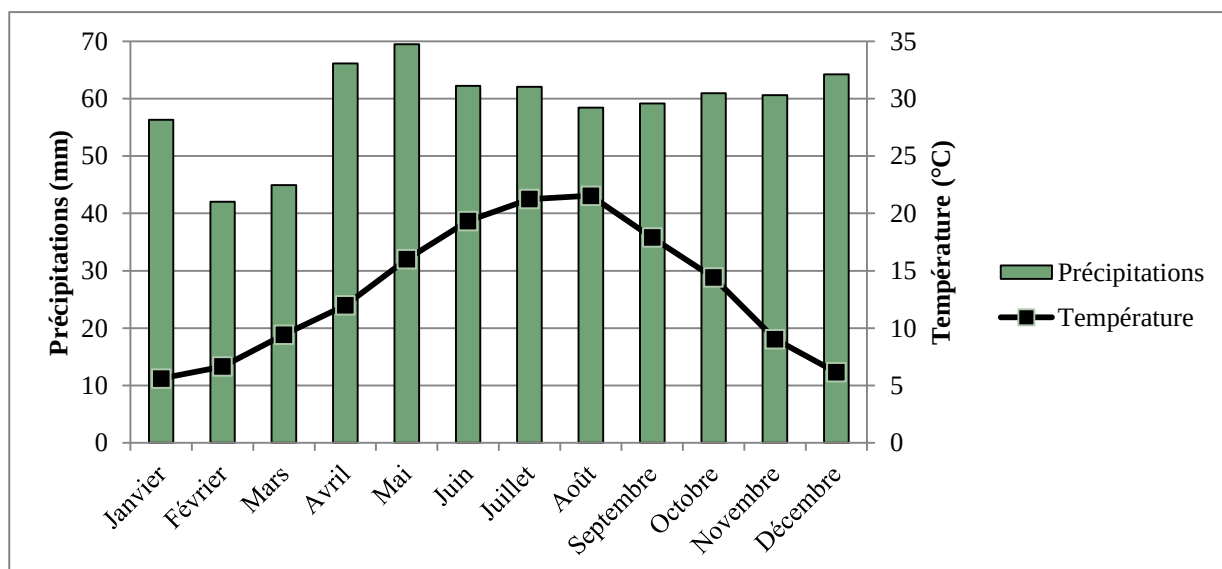


Figure 4: Diagramme ombrothermique sur la base de la formule de Gaussen : $P=2T$ (données Météo France, station de Auch Lamothe, moyenne de 1992 à 2011)

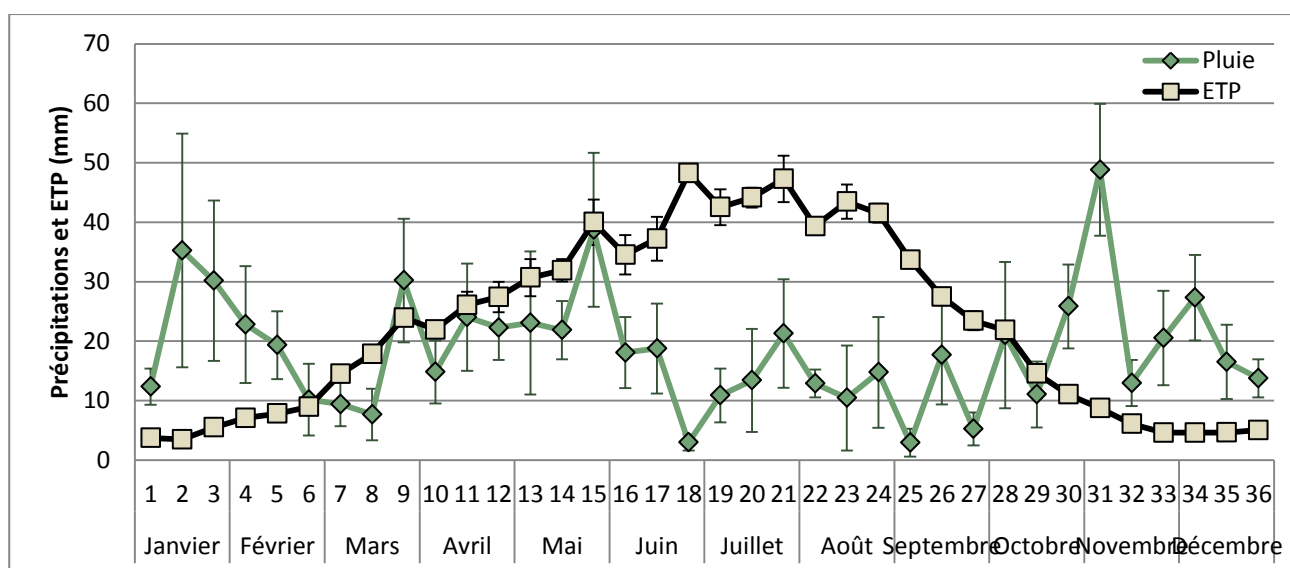


Figure 5: Précipitations et évapotranspiration potentielle (ETP) : moyenne interannuelle des cumuls par décade (données INRA de la station météo de la Hourre, de janvier 2009 à juillet 2013 inclus). Les barres verticales représentent l'erreur standard.

La présentation des résultats comporte trois parties. La première présente les résultats du diagnostic et les objectifs définis. La seconde décrit les scénarios d'intensification agroécologique. Enfin, quelques propositions sont faites pour la réalisation d'un point zéro et le suivi du dispositif dans une troisième partie.

3.1 Diagnostic et définition des objectifs

Afin d'appréhender toutes les composantes du système lors du diagnostic, celui-ci a été divisé en deux parties. Une première partie à l'échelle de l'exploitation permet d'avoir une vision globale de la situation et de s'intéresser aux habitats semi-naturels présents autour des parcelles. La seconde partie est un diagnostic agronomique centré sur la parcelle, qui permet de définir les objectifs retenus pour chaque parcelle.

3.1.1 Diagnostic à l'échelle de l'exploitation

3.1.1.1 *Contexte pédo-climatique*

Le domaine de la Hourre est situé sur un système de coteaux de pentes moyennes à fortes : sommets étroits de crêtes, versants et bas de versants, fonds de talwegs et terrasses peu nettes d'origine alluviale et colluviale. L'altitude varie de 150 m en bas du domaine, à 239 m au point le plus haut.

Les sols sont des terreforts argilo-calcaires, à l'exception d'une petite partie tout en haut du domaine. Ces sols sont très variables en termes d'épaisseur, de teneur en éléments grossiers et de présence d'éléments argileux en profondeur. Sur ces critères, 10 unités de sol distinctes ont été identifiées lors de l'étude pédologique menée par la compagnie d'aménagement des coteaux de Gascogne (CACG) (Figure 3).

Les sols sont essentiellement argileux, mais des textures argilo-limoneuses ou argilo-limono-sableuses sont présentes par endroits (caractérisation par le triangle des textures du GEPPA). Le pH est compris entre 8,2 et 8,7 avec une moyenne de 8,4. Il est à mettre en relation avec la forte teneur du sol en CaCO_3 : $295 \text{ g/kg} \pm 21 \text{ g/kg}$. Ceci induit la rétrogradation sous forme tricalcique du phosphore et réduit donc considérablement la quantité de phosphore assimilable.

Les précipitations annuelles sont de 706 mm en moyenne (calculée sur 20 ans à partir des données Météo France de la station Auch Lamothe). Elles sont équitablement réparties tout au long de l'année (Figure 4), avec un maximum au printemps (avril et mai, respectivement 66 et 69 mm) et un minimum à la fin de l'hiver (février et mars, respectivement 42 et 45 mm). La température moyenne est de $13,27^\circ\text{C}$, oscillant entre $5,6^\circ\text{C}$ en janvier et $21,5^\circ\text{C}$ en août. Des gelées sont possibles d'octobre à avril, mais la température du sol à 10 cm de profondeur n'est jamais descendue en dessous de 1°C depuis le printemps 2008 (date à partir de laquelle nous disposons de mesures effectuées par une station météo installée sur l'exploitation). L'évapotranspiration potentielle (ETP) est supérieure à la pluviométrie pendant deux périodes : une longue période estivale et une courte période en sortie d'hiver (Figure 5).

3.1.1.2 *Assolement et rotation*

Le domaine de la Hourre est conduit comme une ferme et non comme un domaine expérimental. L'assolement est donc réfléchi de façon à permettre la pérennité de la structure. Les principales productions de l'exploitation sont le blé, l'orge, le soja, la féverole, le pois, le tournesol et plus récemment le sorgho. Le trèfle violet est régulièrement cultivé et restitué au sol. Deux groupes de parcelles se distinguent :

- Les parcelles de vallée, où il est possible de cultiver du soja sans irrigation. Sur ces deux parcelles, du soja est cultivé un an sur deux en alternance avec du blé. Ceci permet d'avoir du soja, culture à forte valorisation économique, présent chaque année sur l'exploitation.
- Les parcelles de coteaux, où la RU est insuffisante pour cultiver du soja sans irrigation. Sur ces parcelles, les rotations sont plus longues et variées, mais ne sont pas

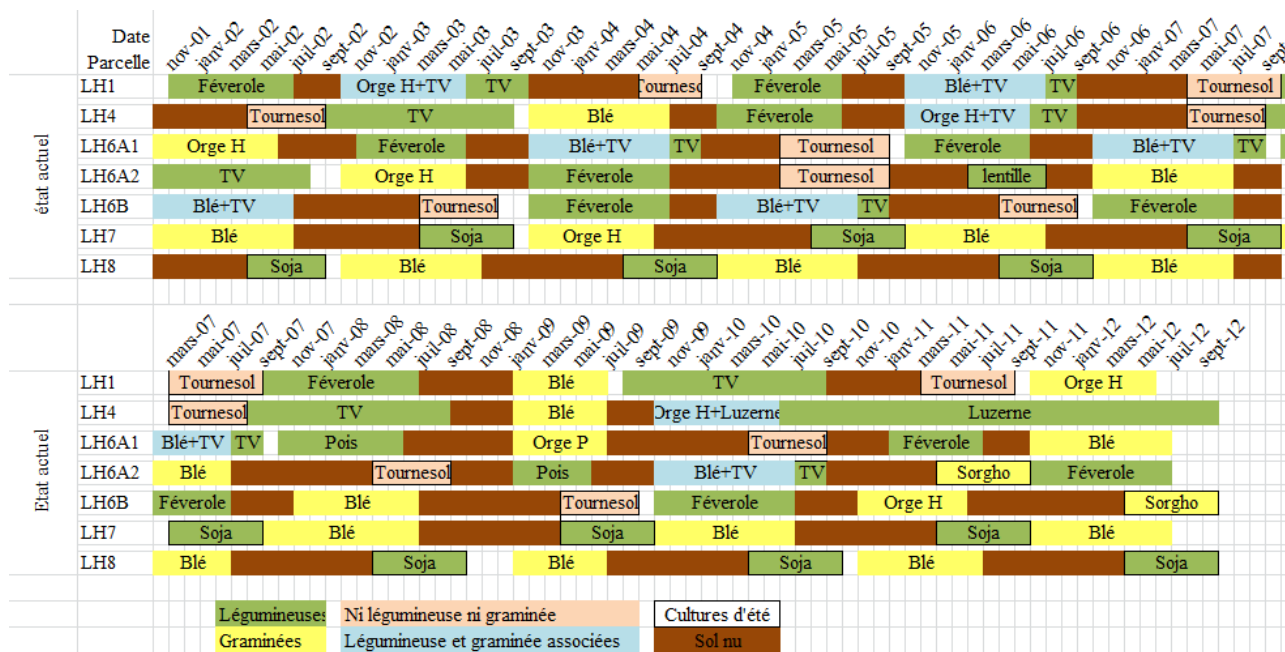


Figure 6: Assolement et calendrier d'occupation des sols de 2002 à 2012.

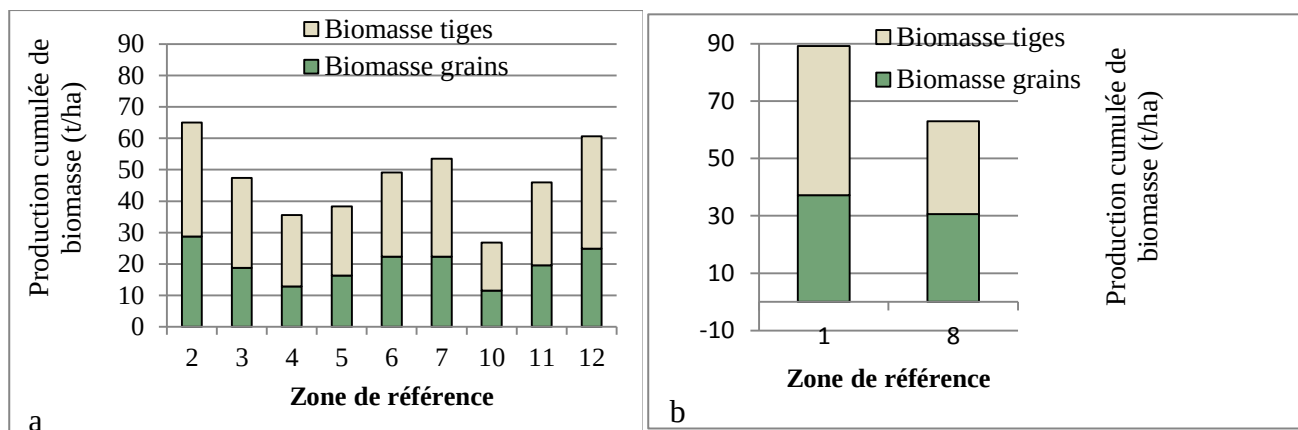


Figure 7(a) Production cumulée de biomasse dans les parcelles de coteaux (années 2003, 2005, 2006, 2007, 2009, 2011 et 2012) et (b) dans les parcelles de vallées (années 2002 à 2012)

Tableau 6: Rendement en grains aux normes d'humidité (15% d'humidité) des cultures de blé de 2002 à 2012 par zone de référence (prélèvement manuel), en $q.ha^{-1}$.

	ZR1	ZR2	ZR3	ZR4	ZR5	ZR6	ZR7	ZR8	ZR9	ZR10	ZR11	ZR12	Moy.
2002	59,3	97,4	65,9	58,7									70,3
2003							33,4						33,4
2004				52,9		63,5		63,3					59,9
2005		84,2	61,2	57,5			51,3						63,6
2006	35,6								17,3	44,5	60,8		39,6
2007				44,3	51,7	56,1	62,8						53,6
2008	53,4	57,8		48,5									53,3
2009							28,6	14,7	8,1	14,2	14,6		16,0
2010	49,4				42,0								45,7
2011							24,3						24,3
2012	48,8			42,2		59,6							50,2
Moy	49,3	79,8	63,5	54,9	46,5	46,8	59,8	40,1	39,0	12,7	29,3	37,7	46,6

déterminées à l'avance pour pouvoir répondre aux besoins du marché ou à des contraintes agronomiques telles que les adventices. Ces rotations suivent cependant deux règles de décision : (i) chaque culture non légumineuse est précédée d'une légumineuse (de vente ou engrais vert) et (ii) alterner autant que possible culture d'été et d'hiver.

Les successions culturales de chacune des parcelles de la Hourre depuis 2002 sont représentées sur la Figure 6. Un code couleur permet de distinguer les familles de cultures et les cultures d'été sont encadrées pour une meilleure visibilité.

Le sol est laissé nu pendant plusieurs mois presque tous les ans sur chacune des parcelles, soit environ un tiers du temps. Lorsqu'une culture d'hiver est suivie d'une culture de printemps ou d'été, le sol peut rester nu pendant 9 mois. Dans ces conditions, il semble particulièrement intéressant d'introduire une culture intermédiaire (ou une culture dérobée) offrant des services écosystémiques, de CIPAN et d'engrais vert notamment. Cette pratique est aussi intéressante entre deux cultures d'hiver, où l'interculture dure environ 4 mois. Les périodes où le sol reste nu alors qu'une culture intermédiaire serait possible apparaissent en marron sur la Figure 6. Seule la parcelle LH4 présente un temps d'occupation du sol plus élevé grâce à trois années de luzerne et deux jachères de trèfle violet.

3.1.1.3 Production

En conséquence de la forte hétérogénéité des sols, la production varie aussi fortement d'une zone de référence à une autre, y compris au sein d'une même parcelle, comme le montrent les graphiques du cumul de biomasse produite par zone de référence (Figure 7).

Les ZR 2 et 12 en coteaux sont les plus productives, ce qui s'explique par la profondeur de sol sur ces ZR. A l'inverse, la ZR 10 qui est la moins profonde est aussi la moins productive. En vallée, la productivité est meilleure sur la ZR1, plus homogène que la ZR 8, ce qui représente bien l'ensemble de ces deux parcelles (LH7 et LH8).

De 2009 à 2011, la moyenne nationale des rendements aux normes en blé était de 3,2 t/ha d'après les études de FranceAgriMer sur les blés biologiques (FranceAgriMer, 2011; FranceAgriMer, 2012). Les rendements de la Hourre sont supérieurs à la moyenne nationale en 2010 et inférieurs en 2009 et 2011, années à faible production où les blés étaient implantés sur des parcelles au potentiel de production médiocre (Tableau 6).

Les rendements de blé en vallée sont globalement moins bons que ceux en coteaux, malgré des sols de qualité. Cette différence peut s'expliquer par l'effet précédent du soja moins favorable que celui de la féverole.

3.1.1.4 Fertilité des sols

3.1.1.4.1 Matière organique

Les taux de matière organique à la Hourre sont très variables, entre 1,6% et 2,9% en 2012 sur l'horizon 0-15 cm, avec une zone particulièrement pauvre à 1,1%. Ces taux sont globalement stables : après une baisse en 2007, les teneurs mesurées en 2012 sont à nouveaux du même ordre que celles de 2002. Cependant, il est trop tôt pour faire une analyse plus fine de ces teneurs car plusieurs mesures semblent incohérentes et sont en cours de ré-analyse. De plus, compte tenu de la variabilité spatiale de la MO et des faibles différences de teneurs, il est difficile de statuer définitivement sur cette évolution.

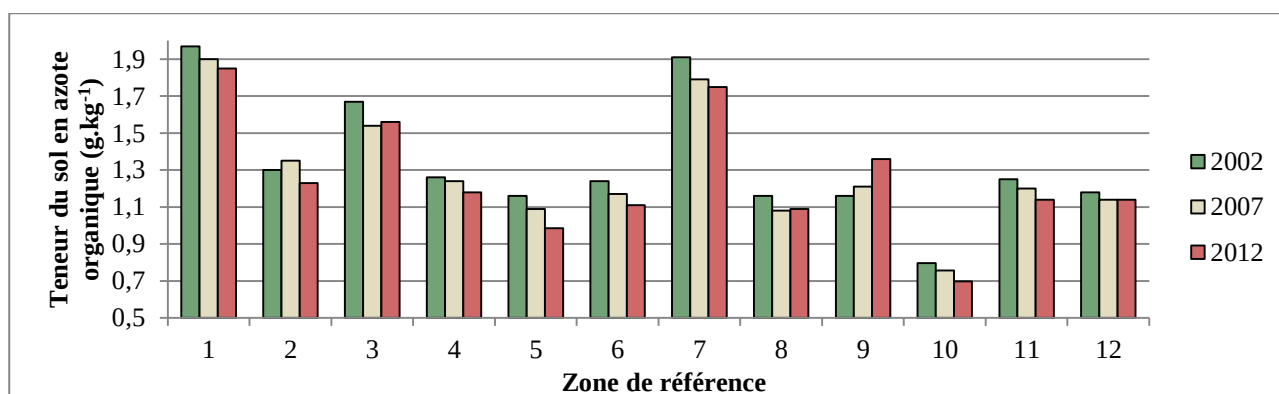


Figure 8: Evolution de la teneur du sol en azote organique sur 120 cm de profondeur, de 2002 à 2012, par zone de référence.

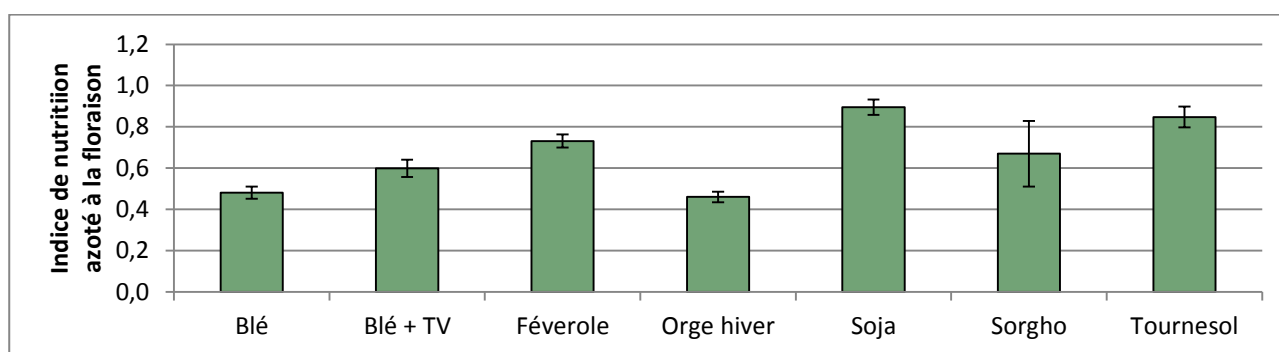


Figure 9: Indice de nutrition azotée à la floraison, moyenne par culture de 2002 à 2012. Les barres verticales représentent l'erreur standard.

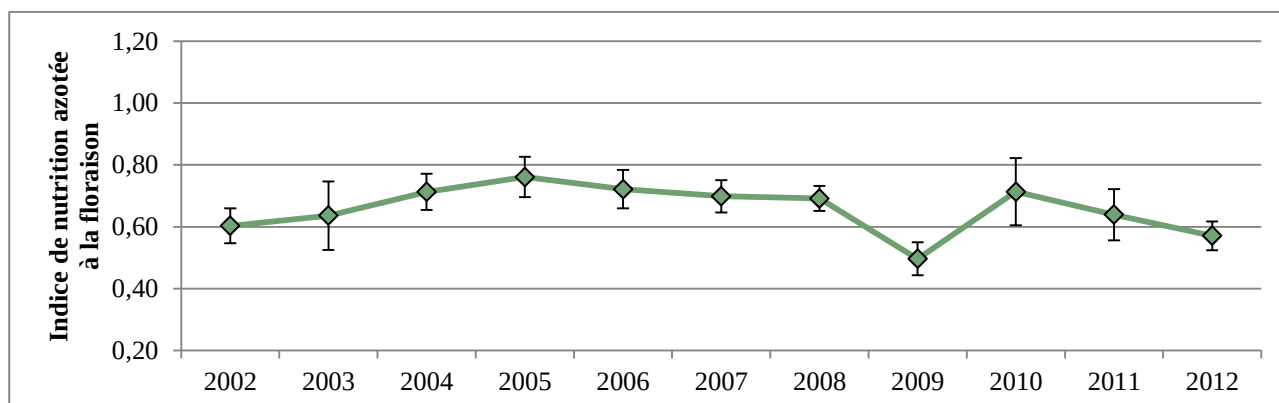


Figure 10: Evolution de l'indice de nutrition azotée à la floraison, moyenne annuelle calculée sur l'ensemble des zones de référence quelle que soit la culture. Les barres verticales représentent l'erreur standard.

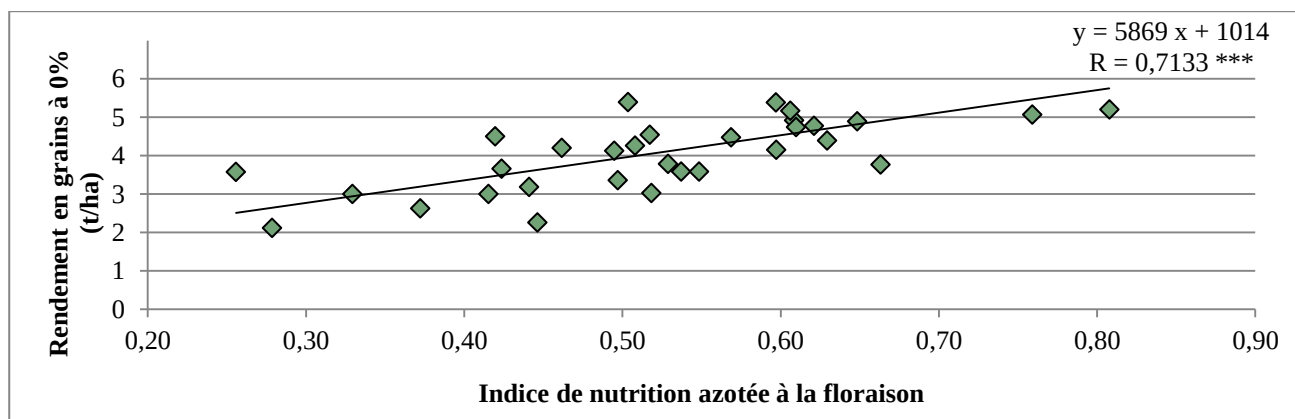


Figure 11: Relation entre indice de nutrition azotée à la floraison et rendement en grains des céréales à paille. La corrélation observée est significative à plus de 1%.

3.1.1.4.2 Azote

La teneur des sols en azote organique a tendance à diminuer, sur toutes les parcelles sauf sur ZR 9 (Figure 8). L'indice de nutrition azotée (INN) est correct pour les légumineuses, le tournesol et le sorgho (Figure 9). Il est faible sur céréales : 0,49 en moyenne (toute ZR et toutes années confondues), pour des valeurs comprises entre 0,23 et 0,76. Toutefois, ces valeurs d'INN sont à relativiser par rapport aux valeurs d'INN rencontrées en agriculture biologique, plus faibles qu'en agriculture conventionnelle. A titre d'exemple, sur l'essai sur les systèmes de culture mené par Arvalis de 2003 à 2012 à Etoile-sur-Rhône, l'INN moyen du blé est de $0,70 \pm 0,03$ (Michel Mangin, communication personnelle, 27 Juin 2013). L'évolution des valeurs d'INN à l'échelle de l'exploitation ne montre pas de tendance nette, que ce soit sur l'ensemble des cultures (Figure 10) ou sur les légumineuses (figure non montrée), ce qui veut dire qu'il n'y a pas d'altération notable de la fixation symbiotique.

Si on considère toutes les cultures simultanément, il n'y a pas de corrélation entre l'INN à la floraison, l'azote minéral du sol et le rendement en grains (annexe 5). La principale explication est la grande variabilité de l'INN et des rendements en fonction de l'espèce, qui masque les relations possibles. Par contre, pour les céréales à paille, le rendement en grains (t MS/ha) est corrélé étroitement avec l'INN à la floraison (

Figure 11). Il en est de même pour le nombre de grains au mètre carré des céréales et l'INN (annexe 5). Ceci montre que sur le domaine de la Hourre, la nutrition azotée est un facteur limitant majeur, comme dans beaucoup de situations en agriculture biologique. Enfin, il n'y a pas de corrélation entre rendement des céréales et azote minéral disponible dans le sol à l'automne ou à la sortie d'hiver (figure non montrée), ni entre azote minéral disponible et INN (figure non montrée).

La quantité d'azote minéral dans le sol à l'automne est dépendante de la culture précédente (Figure 12). Elle est maximale après la féverole. Les résidus de soja libèrent moins d'azote à l'automne suivant la récolte, et la quantité d'azote minéral présente après une jachère de trèfle violet est très variable. Il faut noter que la quantité d'azote minéral à l'automne est plus faible pour un précédent trèfle violet que pour la féverole. Par contre à la sortie de l'hiver les quantités sont équivalentes entre ces deux cultures, voire légèrement supérieures après trèfle violet (figure non montrée). Deux hypothèses permettent de l'expliquer : d'une part la minéralisation du trèfle violet commence plus tardivement car le trèfle est détruit seulement en octobre, un mois avant le prélèvement, et d'autre part, l'azote libéré par la minéralisation de la féverole est utilisé par le blé pendant l'automne. En conséquence d'une plus grande disponibilité d'azote minéral après légumineuse, les indices de nutrition azotée à la floraison et les rendements en grains des céréales sont en moyenne meilleurs après un précédent lentille, féverole ou trèfle violet qu'après soja, céréale ou tournesol (Figure 13).

3.1.1.4.3 Phosphore

La teneur du sol en phosphore assimilable, mesurée par la méthode Olsen (P Olsen), est très faible : entre 5 et 11 mg de P par kg de terre en 2012 dans l'horizon 0-15 cm et de 4 à 11 mg/kg dans l'horizon 15-30 cm. Ceci est une conséquence du pH élevé, qui provoque la rétrogradation sous forme tricalcique du phosphore. Cette teneur en P Olsen diminue au cours du temps depuis 10 ans, avec une diminution de 2007 à 2012 équivalente à celle de 2002 à 2007 (Figure 14). La teneur du sol en P Olsen diminue avec le cumul des exportations, mais à une échelle bien différente : de 2002 à 2012, 114 kg/ha de phosphore ont été exporté (moyenne des 12 ZR), et la quantité de P Olsen a diminué de 7,2 kg/ha (soit 31% du stock initial de P Olsen mesuré en 2002). Cependant, malgré la diminution de la quantité de P Olsen, la teneur en phosphore des grains et des parties aériennes reste stable. La production de biomasse et le rendement ne diminuent pas au cours du temps et les exportations de phosphore restent stables. Tout ceci laisse penser que la diminution de la valeur de P Olsen n'a pas d'impact visible sur les cultures actuellement. Enfin, l'indice de nutrition phosphatée (INP) à la floraison est satisfaisant, proche de 1 (Figure 15). Il semble stable ou en très légère hausse dans le temps, malgré quelques variations importantes certaines années.

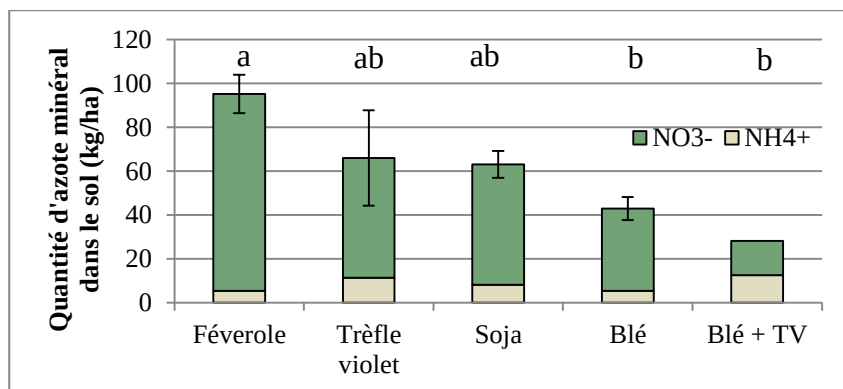


Figure 12: Quantité d'azote minéral à l'automne en fonction du précédent sur 120 cm de profondeur (moyennes pluriannuelles). Les barres d'erreur représentent l'erreur standard de la mesure d'azote minéral. Des lettres différentes traduisent une différence significative au seuil de 5% entre les précédents (test de Newman-Keuls). TV : trèfle violet.

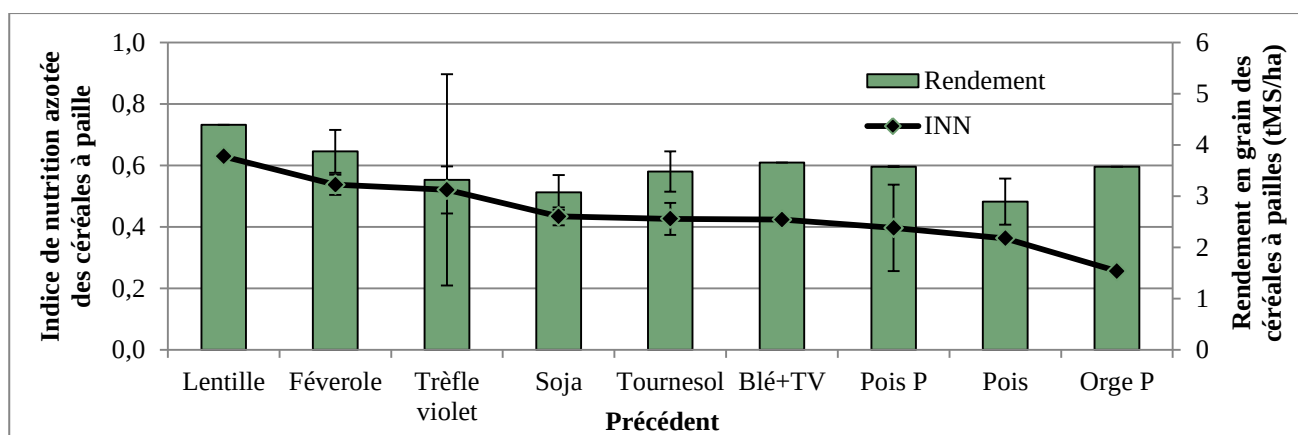


Figure 13: Indice de nutrition azotée à la floraison et rendement en grains des céréales à paille en fonction du précédent. Les barres verticales représentent l'erreur standard, du rendement et de l'INN. TV : trèfle violet ; Pois P : pois de printemps ; Orge P : orge de printemps.

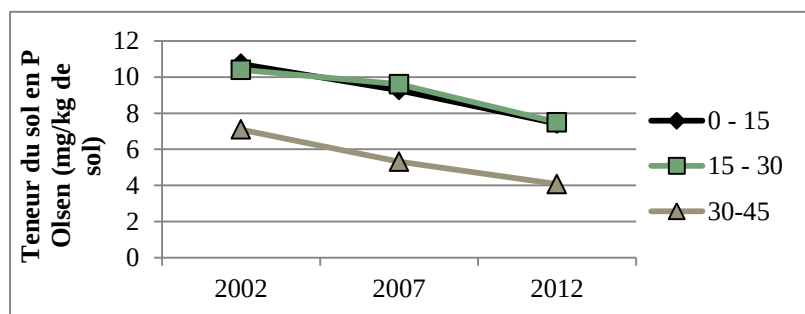


Figure 14: Evolution de la teneur en phosphore assimilable (P Olsen) du sol dans le temps, dans les horizons 0-15 cm de profondeur, 15-30 cm et 30-45 cm ; moyenne sur 12 ZR.

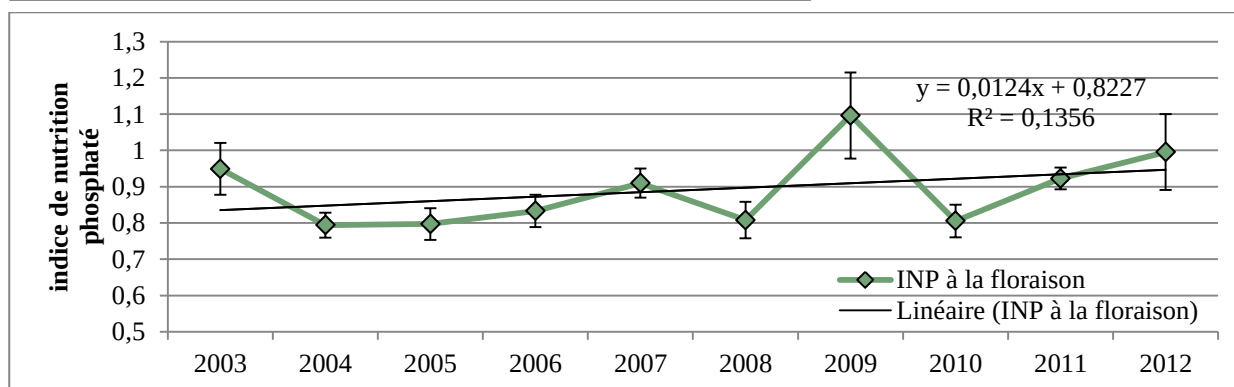


Figure 15: Evolution de l'indice de nutrition phosphatée à la floraison de 2003 à 2012. Les barres verticales représentent l'erreur standard.

En conclusion, il faut retenir que la teneur en P Olsen du sol est faible et a tendance à diminuer, mais ne semble pas limiter les cultures actuellement. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer que le phosphore ne soit pas limitant à la Hourre :

1. Les objectifs de rendement étant plus faibles en agriculture biologique, la quantité de phosphore nécessaire pour atteindre ces objectifs est également plus faible.
2. La nutrition azotée est plus limitante que la nutrition phosphatée, donc les besoins en P sont limités. Qu'en sera-t-il si la nutrition azotée est améliorée ?
3. Des mécanismes biologiques au sein de l'écosystème du sol permettent la nutrition des plantes malgré la faible disponibilité du phosphore (mycorhizes, micro-organismes, facilitations, etc.). Cette hypothèse est d'autant plus importante que les sols de la Hourre sont bien pourvus en phosphore total : de l'ordre de 2 945 kg/ha de P, soit un stock correspondant à plus de 250 ans d'exportations au rythme actuel.

L'indicateur P Olsen est-il pertinent pour caractériser la disponibilité en phosphore du sol dans le contexte pédoclimatique de la Hourre, avec un système de culture en bio ?

3.1.1.5 Cartographie des habitats

La carte des habitats (Figure 16) permet de mettre en évidence l'existence d'un réseau continu de haies et d'arbres sur le domaine de la Hourre. Toutes les parcelles sont entourées de haies ou de bois, seules les divisions récentes au sein de la parcelle LH6 ne sont pas encore pourvues de haies. Les haies rencontrées sont de plusieurs types :

- Jeunes haies multispécifiques, plantées en 2009 et 2010, constituées d'arbres et d'arbustes (liste des espèces en annexe 6). Elles bordent les parcelles LH1, LH4 et LH6B.
- Alignements d'arbres plus anciens, d'espèces diverses dont notamment des pruneliers (*Prunus spinosa*) et des frênes (*Fraxinus excelsior*).
- Ligne spontanée de frênes le long du fossé entre LH7 et LH6, avec également quelques roseaux à massette (*Thypha latifolia*) dans le fossé.
- Ripisylve spontanée et multi-étagée (strates herbacée, arbustive et arborée) qui longe le ruisseau du Lastran de chaque côté (entre LH7 et LH8).
- Plantation de *Ginkgo biloba* sur une partie de la bordure entre la route et la parcelle LH8
- Allée de platanes (*Platanus* sp.) le long du chemin qui mène de la route aux bâtiments.

Des bandes enherbées (en rouge sur la carte) complètent le réseau d'habitats non cultivés. Enfin, il faut noter la présence de trois mares, un ruisseau et deux fossés parmi les habitats linéaires (le ruisseau et certains fossés sont difficilement visibles sur la carte).

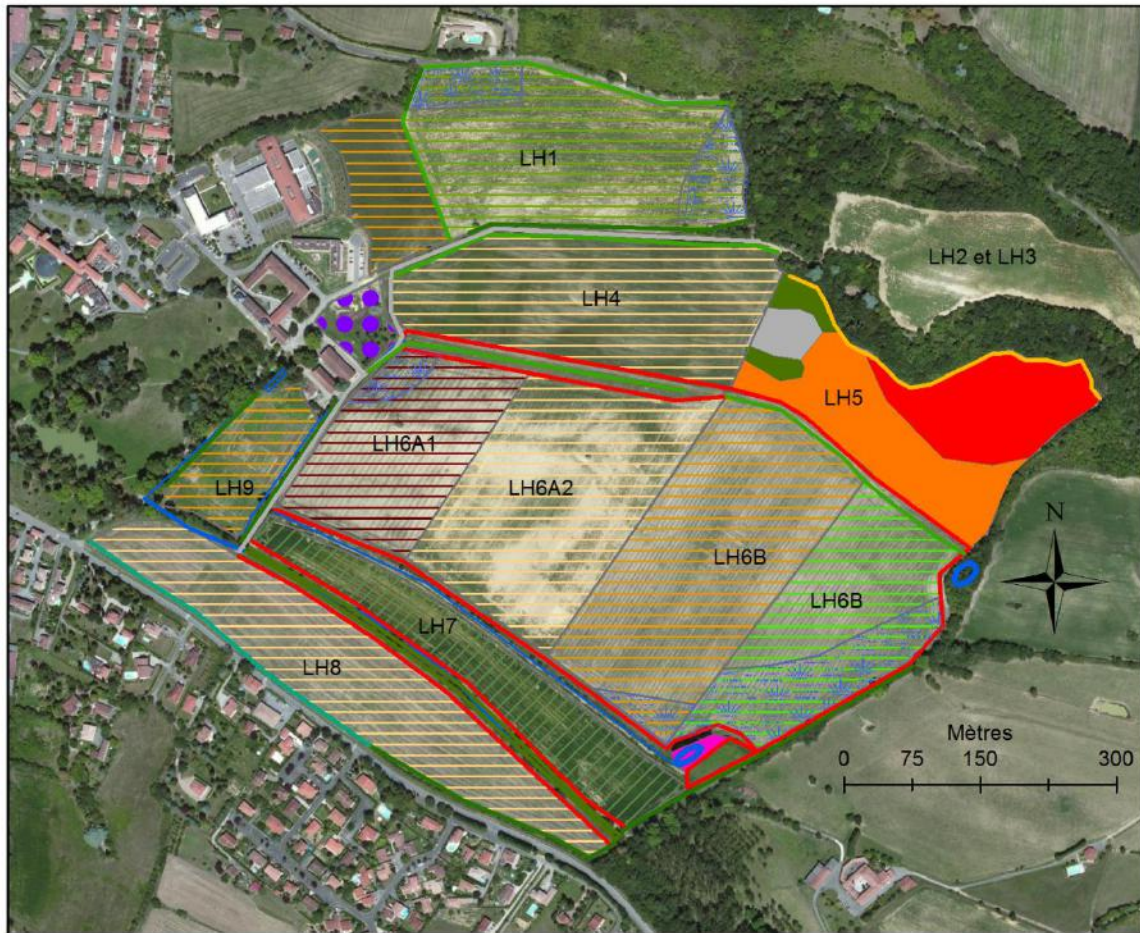
Au total, l'exploitation de la Hourre comprend environ 4 670 m de haies, 3 280 m de bandes enherbées, et 1 860 m de lisières, soit environ 9,8 km d'habitats linéaires. Si on considère que la largeur des habitats linéaires est de 5 m, ils couvrent 4,9 ha sur le domaine de la Hourre.

Les habitats surfaciques sont majoritairement des parcelles cultivées, dont les seules différences sont le type de culture actuellement présent (et donc variable d'une année à l'autre) et la présence d'hydromorphie temporaire sur certaines zones.

En plus des parcelles cultivées et des habitats linéaires, l'exploitation compte des habitats surfaciques non cultivés (plus de 5 ha) :

- une zone humide où poussent des cyprès chauves (*Taxodium distichum*), des orties (*Urtica dioica*), du gaillet (*Gallium* spp.) et des prêles (*Equisetum* spp.), qui n'est pas entretenue,
- une zone d'effondrement colonisée par des arbres et des broussailles, non entretenue,
- une jachère, broyée annuellement et qui regroupe elle-même plusieurs habitats différents et une grande diversité d'espèces végétales (orchidées, graminées, *Nostoc* sp. ou algues bleues fixatrices d'azote, etc.)

Au total, près de 10 ha sur les 55 ha de l'exploitation sont des habitats semi-naturels, soit 18% de la surface. Ce calcul ne prend pas en compte les surfaces boisées, le ruisseau ni les mares.



Cartes des habitats écologiques, domaine de la Hourre. Pascale Métails, Mai 2013

Hydrographie

Nom

- Fossé
- Mare
- Ruisseau
- Réservoir
-  Hydromorphie

Habitats_linéaires

Nom

- bande enherbée
- chemin
- frênes et roseaux massette
- genêts
- ginkgo biloba
- haie multispécifique
- jeune plantation multispécifique
- plantanes
- ripisylve multiétagée

Habitats_surfaciques

Nom

-  Culture: blé
-  Culture: moutarde
-  Culture: orge
-  Culture: soja
-  Culture: sorgho
-  Cultures: pois
-  Cypres chauves
-  Effondrement: prunus et arbres divers
-  Jachère: fétuque
-  Jachère: orchidées
-  Jachère: picris
-  Terrain urbanisé

Figure 16: Carte des habitats écologiques du domaine de la Hourre en mai 2013

La qualité des haies en tant que réservoir de biodiversité est globalement satisfaisante. Cependant, deux points sont à noter :

- La haie spontanée de frênes le long du fossé entre LH6 et LH7 comporte quelques trous et reste très peu diversifiée. C'est une haie encore jeune, qui est en train de se former.
- Les jeunes haies multi-spécifiques, plantées en 2009 et 2010, présentent des hauteurs complémentaires, mais peu d'espèces au feuillage marcescent ou sempervirent et une période de floraison relativement courte allant de mars à juillet.

3.1.1.6 Energie

D'après Adrien Pelletier, l'efficacité énergétique des successions culturales du CREAB est supérieure à la moyenne des successions culturales des exploitations enquêtées, mais égale à celle des successions culturales fertilisées sans irrigation (Pelletier, 2008). L'énergie spécifique du CREAB est très légèrement inférieure à celle des rotations fertilisées non irriguées.

Le CREAB consomme moins que les exploitations enquêtées (toutes confondues, avec ou sans irrigation et fertilisation), mais produit également moins. Au final, le gain énergétique du CREAB est légèrement inférieur à celui des autres exploitations. Par contre, les résultats du CREAB sont très proches de ceux des exploitations avec fertilisation et sans irrigation (Figure 17a), ce qui correspond à son système de culture.

Le principal poste de consommation énergétique du CREAB MP est le poste « carburants et lubrifiants ». L'implantation des cultures est la fonction la plus énergivore, devant, par ordre de consommation énergétique décroissante : la restructuration profonde du sol, la restructuration superficielle du sol, la gestion des matières fertilisantes et d'amendement, la récolte, et enfin la gestion curative des adventices (Figure 17b). Comparativement aux autres rotations fertilisées en sec, le CREAB consomme moins pour l'implantation des cultures, mais plus pour les restructurations profondes, probablement à cause de la présence systématique du labour alors que certaines exploitations enquêtées n'ont recours au labour qu'une fois tous les 4 ans.

3.1.1.7 Diagnostic économique

3.1.1.7.1 Marge brute et semi-nette

Les marges brutes et semi-nettes sont très variables selon les zones de référence et les années (Tableau 7). En moyenne sur l'ensemble des zones de référence, elles augmentent de 2009 à 2011 et diminuent légèrement en 2012. Les zones de référence dont les marges sont les plus élevées en moyenne de 2009 à 2012 sont les ZR1, ZR2 et ZR6 puis ZR7 et ZR12. Il s'agit de zones où le sol est profond et la productivité est élevée d'après le diagnostic agronomique.

En moyenne pour les 4 années, le sorgho et le soja présentent les marges les plus élevées, avec respectivement 1 521 €/ha et 1 347 €/ha de marge nette en moyenne (Figure 18). Cependant, les résultats du soja sont beaucoup plus stables que ceux du sorgho. En effet, le sorgho présente quelques très bons rendements, mais aussi de très mauvais et nous disposons seulement des résultats de deux campagnes. Le tournesol présente des résultats intéressants, dont la variabilité s'explique par une culture exceptionnellement non récoltée en 2012. Les marges dégagées par la culture de blé sont relativement faibles, inférieures à celle de l'orge, à cause des fortes charges de fertilisation, pouvant aller jusqu'à près de 300 €/ha.

3.1.1.7.2 Produits

Les produits (primes incluses) ont nettement augmenté de 2009 à 2011 et se sont stabilisés en 2012. Ceci peut s'expliquer, d'une part, par la hausse des prix de vente, qui se sont stabilisés en 2012 pour une partie des cultures et, d'autre part, par une augmentation du rendement moyen par hectare (toutes ZR et cultures confondues). Il n'y a pas de différence prononcée entre parcelles de vallée et de coteaux. Ceci peut s'expliquer par l'introduction du sorgho qui, lorsqu'il réalise de très bons rendements, augmente considérablement les produits des parcelles de coteaux. Enfin, les primes contribuent à hauteur de 30 % aux produits, et leur part diminue depuis 2009.

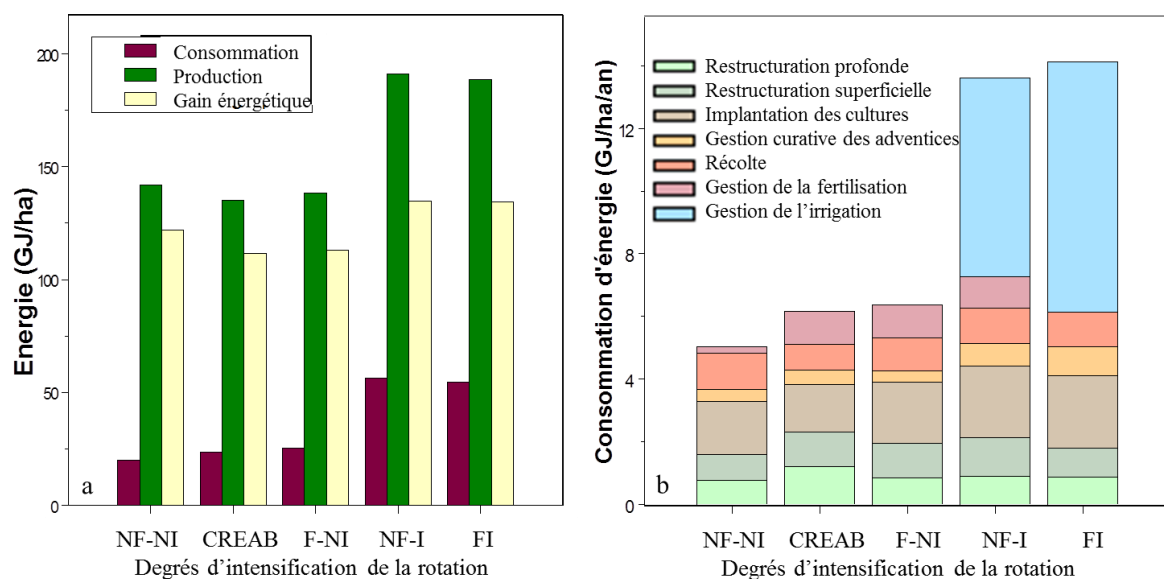


Figure 17: (a) Consommation, production et gain énergétique et (b) Consommation énergétique moyenne et part de chaque fonction par type de rotation selon le degré d'intensification (Pelletier, 2008). NF-NI : non fertilisé et non irrigué ; F-NI : fertilisé et non irrigué ; NF-I : non fertilisé et irrigué ; F-I : fertilisé et irrigué.

Tableau 7: Marge brute et marge semi-nette par zone de référence et par année, en €/ha

	Marge brute					Marge semi-nette				
	2009	2010	2011	2012	Moyenne	2009	2010	2011	2012	Moyenne
ZR01	1453	1263	1968	1391	1519	1193	1023	1593	1157	1241
ZR02	1218	924	1556	2482	1545	947	651	1222	2198	1254
ZR03	504	757	1253	259	693	233	417	990	-55	396
ZR04	744	1145	802	454	786	473	872	467	169	495
ZR05	744	1338	710	1237	1007	526	1021	493	916	739
ZR06	517	1042	2329	1416	1326	399	707	2047	1134	1072
ZR07	744	1455	834	1956	1247	526	1137	618	1635	979
ZR08	365	1602	655	1409	1008	210	1298	416	1152	769
ZR09	412	1263			837	224	920	0	0	572
ZR10	264	336	1097	1073	693	70	225	789	806	472
ZR11	399	336	2383	1132	1063	205	225	2075	864	842
ZR12	438		2475	1477	1463	244	156	2166	1210	944
Moyenne	650	1042	1460	1299	1113	438	721	1071	1017	836

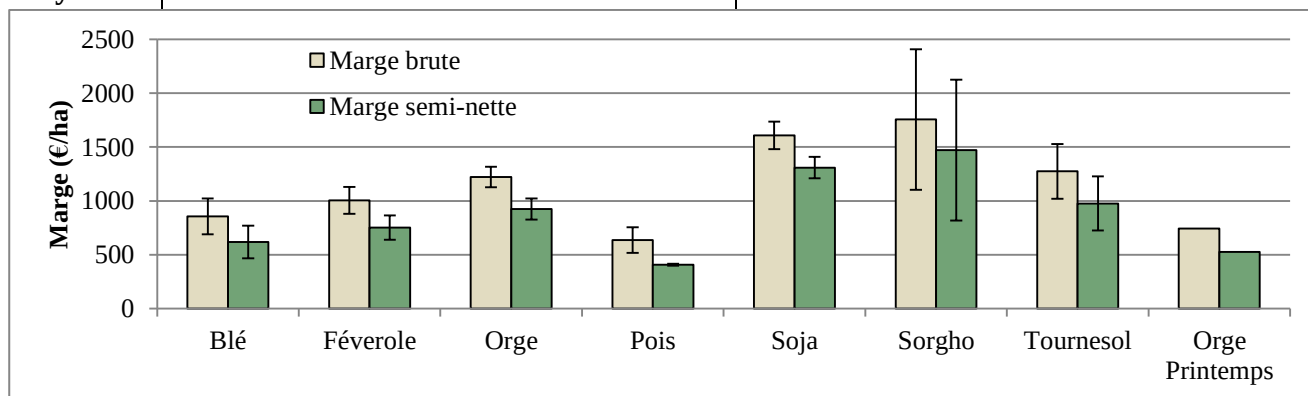


Figure 18: Marge brute et marge semi-nette pour chaque culture (moyenne de 2009 à 2012 et sur toutes les zones de référence). Les barres verticales représentent l'erreur standard.

3.1.1.7.3 Charges

Les charges opérationnelles sont en moyenne plus élevées sur les parcelles de vallée qu'en coteaux. En effet, le blé et le soja sont les deux cultures pour lesquelles les charges opérationnelles sont les plus élevées. La semence de soja coûte environ 50 à 100 €/ha plus cher que les autres cultures. Pour le blé, c'est la fertilisation organique qui accroît fortement les charges. Ces charges ont très légèrement tendance à augmenter depuis 2009 mais la hausse est trop faible pour pouvoir identifier une cause.

Les coûts de mécanisation varient très peu en fonction des zones de référence et des cultures, bien qu'il n'y ait pas d'itinéraire technique fixé par ZR ou par culture. Les opérations les plus coûteuses en charges de mécanisation sont le semis en combiné, la herse rotative et le labour (Figure 19). Ceci s'explique par le prix élevé de ce matériel, donc des amortissements élevés. En conséquence, le passage d'un ou plusieurs de ces outils dans l'itinéraire techniques augmente rapidement les charges de mécanisation et réduit la marge semi-nette.

Enfin, comme attendu, les outils de travail profond du sol (charrue et décompacteur) sont les plus forts consommateurs de carburant (Figure 19).

On observe une réduction des charges de mécanisation d'environ 10 €/ha et par an entre 2010 et 2012. Cette diminution peut s'expliquer par une modification de l'itinéraire technique ayant permis de limiter l'utilisation de la charrue et de la herse rotative, mais pas de réduire le nombre de passages.

Il est difficile de mettre en évidence des différences de coûts de mécanisation et de carburant entre les cultures (Figure 20), notamment parce que les itinéraires techniques ne sont pas fixés. La consommation de carburant semble plus élevée pour les cultures d'été, à cause de la technique de désherbage : la bineuse utilisée sur culture d'été est plus consommatrice que la herse étrille (utilisée sur culture d'hiver).

3.1.1.7.4 Conclusion :

Les différences de marges entre les zones de référence s'expliquent principalement par les différences de produits, liée au rendement, donc à la productivité des parcelles.

Entre les cultures, quelques différences existent :

- Les charges opérationnelles sont relativement homogènes, mais supérieures pour le soja et le blé.
- Les produits les plus élevés sont ceux dégagés par le soja, le sorgho et le tournesol, avec une meilleure stabilité du soja.
- Les charges de mécanisation et carburant sont très proches d'une culture à l'autre.

3.1.1.8 Principaux enseignements du diagnostic à l'échelle de l'exploitation

Le diagnostic à l'échelle de l'exploitation a mis en évidence la présence de longues périodes de sol nu, des taux de matière organique faibles et notamment d'azote organique qui se répercutent sur la nutrition azotée des céréales et leurs rendements car la minéralisation en azote est faible. Par contre, bien que les niveaux de P Olsen soient très faibles, il ne semble pas qu'il y ait d'impact sur la production. D'autre part, les habitats semi-naturels sont présents en assez grand nombre sur l'exploitation, constituant un potentiel de régulations biologiques considérable. Evidemment, le labour et le décompactage, c'est-à-dire les restructurations profondes sont les opérations les plus coûteuses en énergie et en carburant. Enfin, d'un point de vue économique, les cultures d'été dégagent les plus grosses marges, et le blé est moins rentable que les autres cultures à cause des fortes charges de fertilisation organique ayant une faible efficacité pour accroître le rendement et la teneur en protéines.

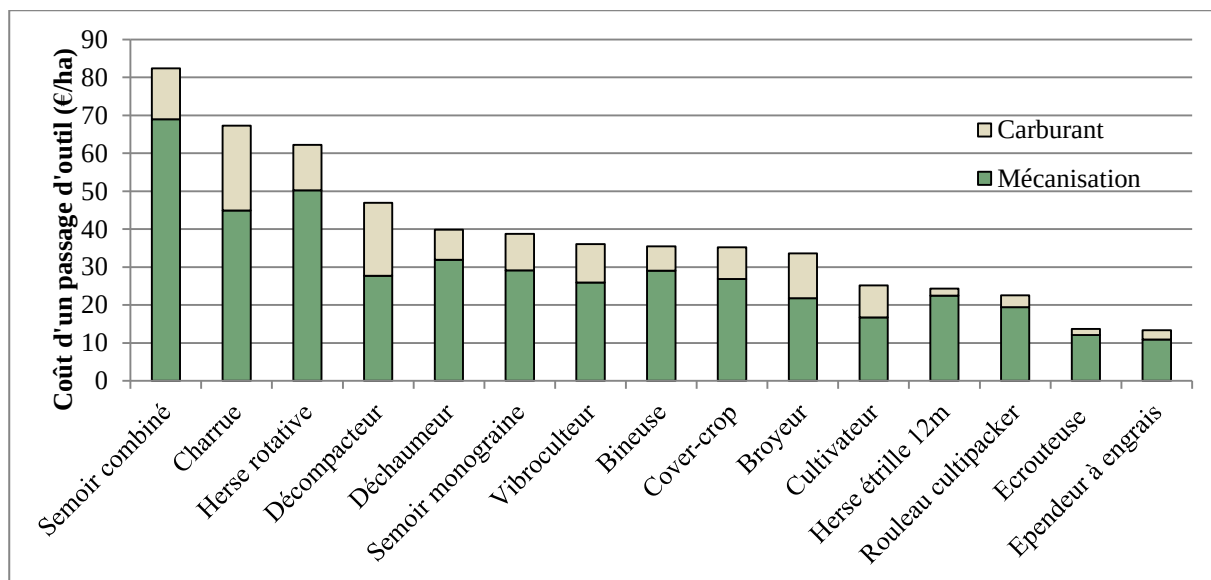


Figure 19: Charges de mécanisation et de carburant par outil (€/ha)

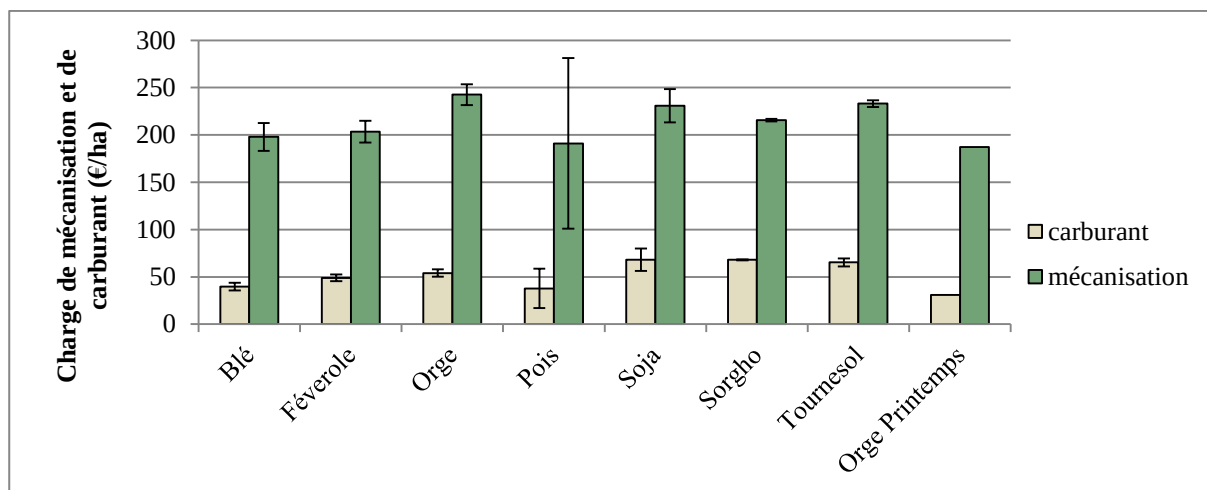


Figure 20: Charges de mécanisation et consommation de carburant par culture (moyenne de 2009 à 2012 et sur toutes les zones de référence). Les barres verticales représentent l'erreur standard.

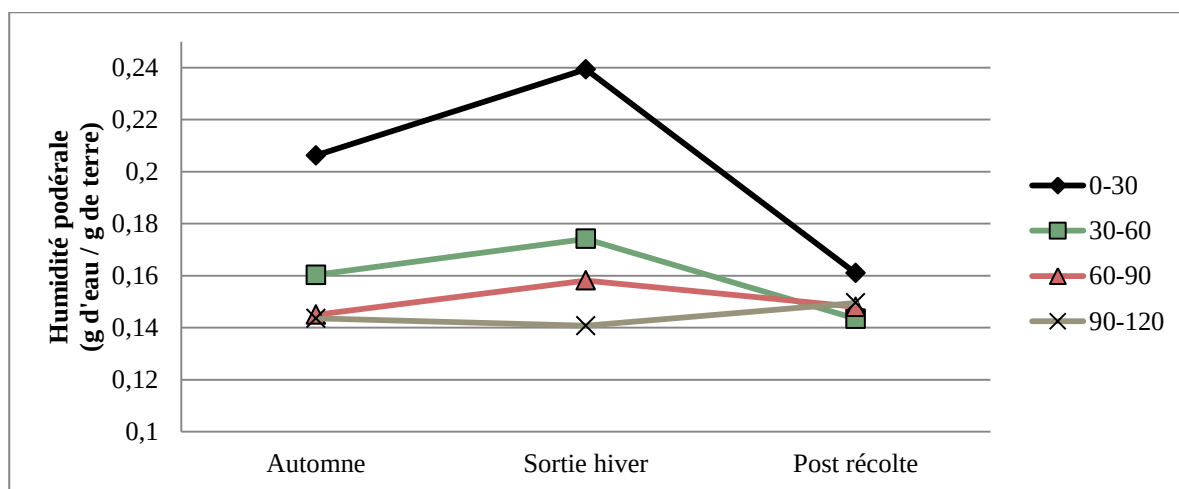


Figure 21: Variation de l'humidité dans les horizons 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm et 90-120 cm de la ZR 6 lors de la culture de blé (2006-2007).

3.1.2 Diagnostic à l'échelle de la parcelle : exemple de la parcelle LH6A2

Le diagnostic à l'échelle de l'exploitation a permis d'identifier les principaux atouts et faiblesses du domaine. Un diagnostic agronomique plus précis par parcelle est nécessaire pour identifier les facteurs limitant la production, qui peuvent être différents d'une parcelle à l'autre. La même démarche ayant été appliquée à toutes les parcelles, seul le résultat de la parcelle LH6A2 est détaillé ici. Un tableau synthétise les résultats obtenus pour chacune des parcelles (annexe 7).

3.1.2.1 Description de la parcelle

La parcelle LH6A2 est une parcelle de coteau, hétérogène, en pente, qui présente un versant nord et un versant sud avec risque d'érosion moyen. Elle contient une zone de référence, ZR6, sur le versant nord. La rotation n'est pas précisément définie à l'avance.

3.1.2.2 Productivité

La productivité de la ZR 6 est légèrement supérieure à la moyenne des parcelles de coteaux de la Hourre. Les rendements moyens à 0% d'humidité entre 2002 et 2012 sont de 4 t/ha en blé, 2,8 t/ha en féverole et 1,9 t/ha en tournesol.

3.1.2.3 Fertilité

3.1.2.3.1 Evolution de la teneur en eau du sol à différentes profondeurs, estimation de l'enracinement et de la réserve utile

Apparemment le blé en 2007 et le tournesol en 2005 n'utilisent l'eau que sur deux horizons, soit 60 cm (Figure 21). Les mesures indiquent toutefois que l'horizon 60-90 cm est exploité par la féverole (2004), la lentille (2006) et le pois (2009). Par contre, le dernier horizon (90-120) semble très peu exploité mais nous disposons de trop peu de mesures à cette profondeur pour l'affirmer. La profondeur d'enracinement sur ZR 6 est probablement de l'ordre de 90 cm. L'humidité maximale mesurée est de 19% en profondeur et 24% en surface. La RU est de l'ordre de 140 mm sur 90 cm. Etant donné la pente de cette zone de référence, il est probable que l'enracinement ne soit pas aussi profond sur toute la ZR, donc que la RU soit plus faible par endroits, de l'ordre de 100 mm. L'hétérogénéité et les différences de profondeur sont probablement encore plus importantes à l'échelle de la parcelle entière.

3.1.2.3.2 Teneur en éléments organiques

La teneur en matière organique est assez faible (1,8% en 2012), et relativement stable depuis 2002. Le calcul du bilan de carbone traduit une accumulation de carbone dans le sol si le taux de minéralisation est de 1%, un bilan équilibré dans le cas d'une minéralisation annuelle de 2%, et une perte de carbone si 3% du stock de carbone est minéralisé chaque année (Figure 22). L'analyse de 2007 est en faveur de l'hypothèse de 2% de minéralisation tandis que la mesure de 2012 est cohérente avec l'hypothèse de 1%. On peut donc supposer que le bilan de C est équilibré ou excédentaire et que le taux de minéralisation est de l'ordre de 1,5% par an.

Le stock d'azote organique est légèrement inférieur à la moyenne de l'exploitation (Tableau 8) et diminue régulièrement au cours du temps (-300 kg N/ha en 10 ans). En conséquence, le rapport C/N est en légère hausse.

3.1.2.3.3 Nutrition azotée

L'INN azotée à la floraison est satisfaisant pour la féverole et le tournesol (respectivement 0,82 et 0,93). Il est faible sur blé (0,44) et inférieur aux autres parcelles de coteaux. Le faible nombre de mesures par culture ne permet pas de dégager une tendance d'évolution claire.

3.1.2.3.4 Teneur en phosphore Olsen

La teneur en P Olsen est de 9,2 ppm en 2012 sur l'horizon 0-15, ce qui est correct par rapport au reste de l'exploitation (7,4 ppm en moyenne en 2012 sur 0-15 pour l'ensemble des ZR). Cependant, cette valeur diminue de 1ppm/an en moyenne sur 10 ans. La quantité de phosphore absorbée par kilogramme de biomasse produite ne montre pas d'évolution nette. Par contre, l'INP tend à augmenter depuis 2003.

Tableau 8: Evolution du stock d'azote organique et du rapport C/N du sol de 2002 à 2012 sur 0-15 cm.

	Stock d'azote organique dans le sol (t/ha)			Rapport C/N		
	2002	2007	2012	2002	2007	2012
ZR6	2,70	2,54	2,41	8,81	8,34	9,4
Moyenne exploitation	2,91	2,80	2,74	8,29	8,07	8,86

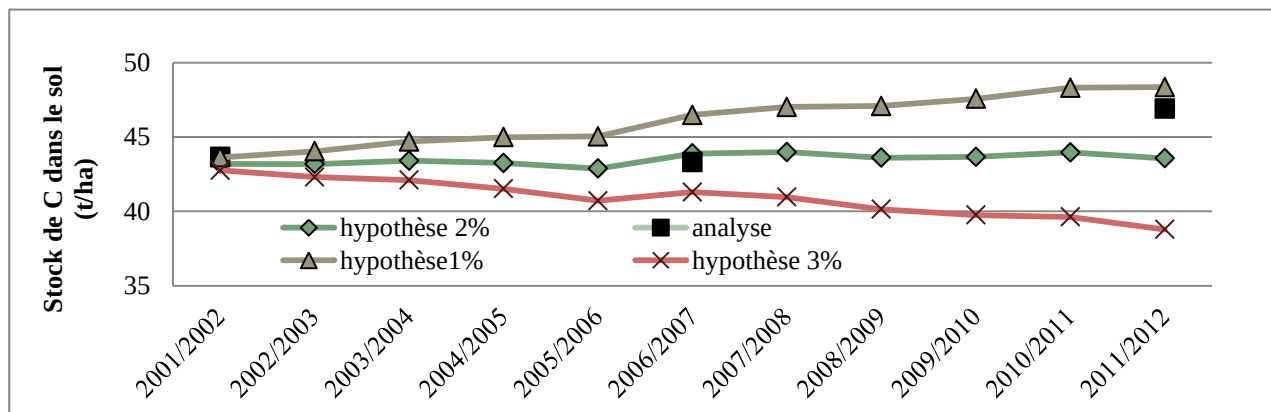


Figure 22 : Evolution du stock de carbone sur 30 cm de profondeur : comparaison de l'évolution estimée par le bilan avec celle mesurée par analyse, sur ZR 6. Les trois courbes correspondent à trois hypothèses différentes sur le taux de minéralisation de la matière organique.

Tableau 9: Principaux facteurs limitants par zone de référence et objectifs fixés pour chaque parcelle

Parcelle	ZR	Facteurs limitants	Objectifs à atteindre
LH7	1	Adventices d'été	Maîtriser les adventices d'été, réduire les périodes de sol nu
LH8	8	Adventices d'été, manque de matière organique, INN faible	Maîtriser les adventices d'été, augmenter le taux de matière organique et l'INN, réduire les périodes de sol nu
LH6A1	5	Manque de matière organique, faible profondeur	Augmenter ou maintenir le taux de matière organique, redécouper la parcelle pour homogénéiser le ressuyage
	7	Hétérogénéité de ressuyage, INN un peu faible sur céréales	
LH6A2	6	Manque de matière organique et d'azote (INN et azote organique)	Augmenter le taux de matière organique, améliorer l'INN du blé, redécouper la parcelle pour homogénéiser le ressuyage
LH6B	2	Manque de matière organique, faible INN sur céréales	Augmenter le taux de matière organique, améliorer l'INN du blé, surveiller le phosphore
	3	Manque de matière organique, faible INN sur céréales	
	4	Manque de matière organique, faible profondeur, faible INN sur céréales	
LH1	10	Manque de matière organique, d'azote et de phosphore, faible profondeur	Augmenter le taux de matière organique, améliorer la nutrition azotée et la teneur du sol en azote organique, surveiller le phosphore
	11	Manque de matière organique, d'azote et de phosphore	
	12	Manque de matière organique, d'azote et de phosphore	
LH4	9	Adventices et érosion	Maîtriser les adventices puis non labour.

3.1.2.4 *Adventices*

Les espèces principalement présentes sont la moutarde, le gaillet et le chardon. Les anthémis sont aussi présentes en bordure de parcelle sur le versant sud.

3.1.2.5 *Conclusion parcelle 6A2 (ZR6) :*

La profondeur, le taux de matière organique et l'azote semblent être les principaux facteurs limitants. D'autre part, des différences importantes de ressuyage et de maturité existent entre les deux versants.

3.1.3 **Définition des objectifs par parcelles**

Les principaux facteurs limitants rencontrés sont la faible profondeur du sol, le faible niveau de matière organique et notamment d'azote organique, la nutrition azotée et les adventices. Les facteurs limitants et objectifs visés par parcelles sont résumés dans le Tableau 9. Un tableau de synthèse du diagnostic par parcelle se trouve en annexe 7.

3.2 **Proposition argumentée de scénarios**

3.2.1 **Découpage parcellaire**

Il existe de fortes disparités de ressuyage et de maturité entre les versants Nord et Sud de la parcelle LH6A. Actuellement, cette parcelle est divisée en deux suivant une ligne Est-Ouest, perpendiculaire à la pente. Il semble judicieux de modifier ce découpage parcellaire et diviser la parcelle LH6A suivant sa ligne de crête en une parcelle LH6A-nord et une parcelle LH6A-sud (Figure 23). Ceci permettra d'homogénéiser les délais de ressuyage et de maturité au sein des futures parcelles, donc de pouvoir intervenir dans de meilleures conditions lors du travail du sol ou de la récolte et de limiter ainsi les risques de tassement. De plus, ces versants en pente présentent un risque modéré d'érosion. La modification du découpage parcellaire permettra de perpendiculairement à la pente et d'implanter si besoin des bandes enherbées ou des lignes d'arbres perpendiculaires à la pente sans que ces aménagements perturbent le travail sur la parcelle.

D'autre part, le soja est actuellement cultivé uniquement sur les deux parcelles de vallée, supposées plus profondes. Etant donné l'importance économique de cette culture, elle est présente tous les ans sur l'exploitation, ce qui se traduit par une rotation de deux ans alternant blé et soja sur les deux parcelles de vallée. Ceci est la cause du développement prononcé d'adventices estivales dans ces parcelles. Il serait donc intéressant de pouvoir allonger les rotations, ce qui suppose de trouver d'autres parcelles où le soja pourrait être cultivé sans irrigation. Dans l'état actuel, il n'y a pas de telle parcelle sur le domaine de la Hourre. Toutefois, d'après les calculs de RU, la capacité de rétention en eau en bas de la parcelle LH6B (ZR 2 et ZR 3) est au moins égale à celle des parcelles de vallée (Tableau 10). Il semble donc envisageable d'y cultiver du soja sans irrigation, à condition de découper la parcelle LH6B en deux : LH6B-Nord et LH6B-Sud, le soja étant introduit sur la parcelle Sud (Figure 23).

3.2.2 **Aménagement et gestion des habitats semi-naturels**

3.2.2.1 *Aménagement de long terme : les arbres agroforestiers*

L'agroforesterie désigne l'intégration d'arbres fonctionnels dans les fermes et le paysage rural (World Agroforestry Centre, 2013). Ces arbres peuvent être intégrés soit dans des haies, soit à l'intérieur même des parcelles. Ils peuvent remplir des fonctions diverses et variées : brise vent, réservoir de biodiversité, production de bois, etc. Dans le cas de la Hourre, la production de bois n'est pas une priorité : la valorisation en bois énergie des nombreux arbres existants serait déjà une première étape intéressante. De plus, les discussions avec différents experts de l'agroforesterie laissent à penser que l'introduction d'arbres dans les parcelles de la Hourre est un choix risqué sans garantie de succès : il n'est pas certain que les arbres soient en mesure de s'enraciner plus profondément que les cultures, à cause de la présence d'un horizon mollassique. Si les racines des arbres explorent les mêmes horizons que les cultures, le risque de concurrence et de perte de

CREAB - Auch

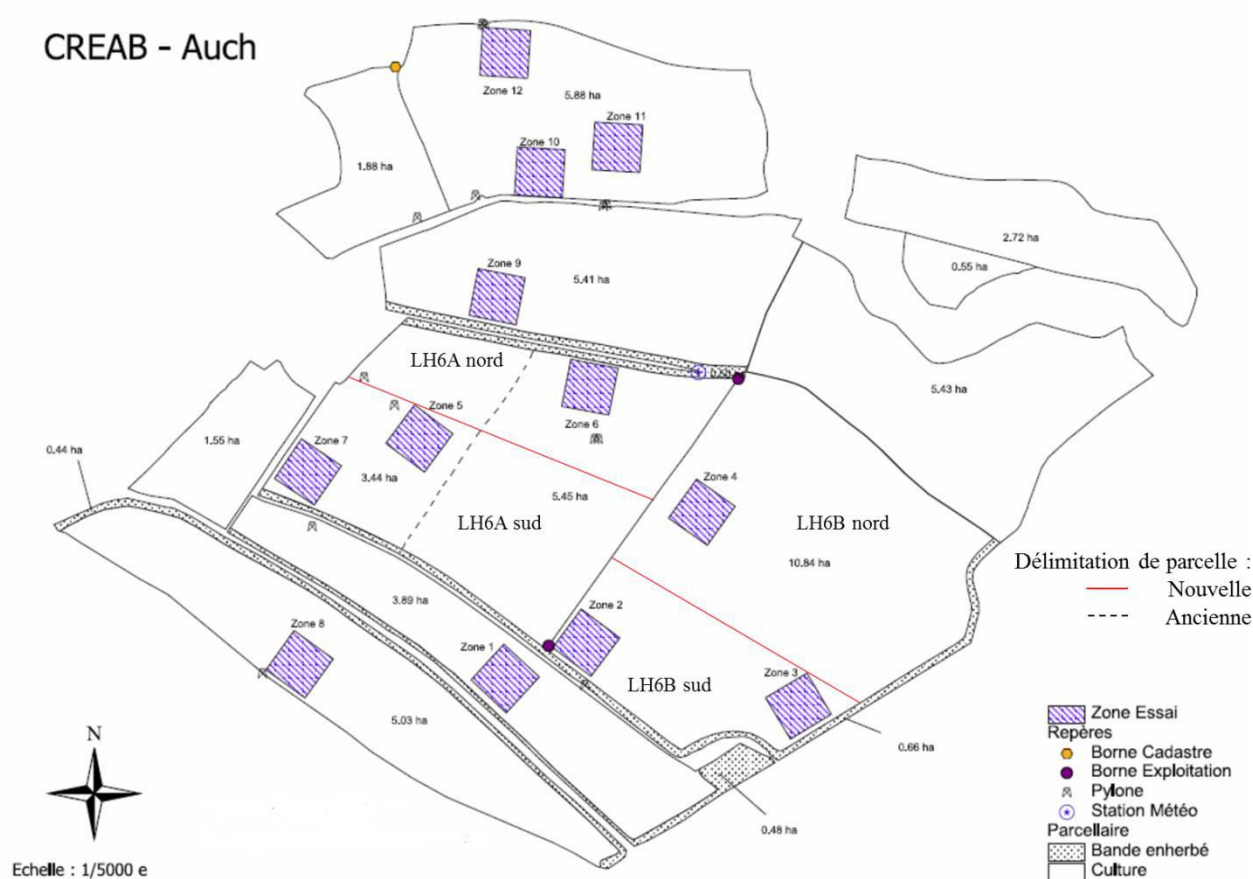


Figure 23: Proposition de modification du découpage parcellaire. Carte réalisée par Pascale Métails en juillet 2013, à partir de la carte réalisée par Nicolas Barthès (2GA) en 2007.

Tableau 10: Profondeur d'enracinement estimée et réserve utile calculée par zone de référence

ZR	Profondeur utile (cm)	Réserve utile (mm)
1	90	180
2	120	184
3	120	203
4	90	136
5	90	140
6	60	98
7	60	103
8	120	163
9	90	137
10	60	86
11	120	179
12	120	189

rendement est grand. Fabien Liagre craint une trop faible croissance des arbres dans les coteaux argilo-calcaires (Fabien Liagre, communication personnelle, 17 mai 2013). D'autre part, d'après Christian Dupraz, la densité d'arbres utilisée en agroforesterie n'est pas suffisante pour améliorer la fertilité de la parcelle (Christian Dupraz, communication personnelle, 7 juin 2013). Par conséquent, il a été choisi d'utiliser les arbres essentiellement autour des parcelles, afin de bénéficier d'un réseau continu de haies, riche en biodiversité et favorisant les régulations biologiques, sans risquer de concurrencer les cultures. Il est proposé que seule une ligne d'arbres antiérosive soit plantée à l'intérieur d'une parcelle qui en est dépourvue actuellement.

3.2.2.1.1 Localisation :

Comme il a été vu dans le diagnostic, un réseau de haies est présent sur toute l'exploitation à l'exception des limites entre les parcelles LH6A1, LH6A2 et LH6B. Il serait alors intéressant de planter des haies autour de ces parcelles une fois que le découpage parcellaire sera fixé. De plus, il est possible d'envisager la plantation d'une ligne d'arbres antiérosive, parallèle aux courbes de niveaux, dans la parcelle LH4 qui présente les risques érosifs les plus importants. Afin de limiter la concurrence pour la lumière et de ne pas pénaliser le travail du sol, l'idéal est de placer cette ligne d'arbres à 60 m du bord de la parcelle, ce qui correspond à deux fois la hauteur maximale des arbres et à 5 largeurs de passage de la herse étrille, le plus large des outils utilisés. Sur la parcelle LH6A, l'implantation d'une haie en haut de pente, le long de la délimitation entre LH6A nord et LH6A sud sera profitable. Par contre, la largeur de ces deux parcelles ne permet pas d'implanter de ligne d'arbres antiérosive. La localisation des aménagements proposés est visible en Figure 24.

Enfin, l'analyse qualitative des haies a permis de se rendre compte qu'il serait intéressant d'enrichir la haie spontanée de frênes et roseaux à massettes et les jeunes haies multi-spécifiques.

3.2.2.1.2 Choix des espèces

Dans un objectif de développement des régulations biologique, il est préférable d'utiliser des haies composites. Les espèces potentiellement intéressantes comme réservoir de biodiversité sont nombreuses, une liste non exhaustive d'espèces possibles est fournie en annexe 8, et donne pour chaque espèce l'autoécologie, la hauteur, la période de floraison et l'intérêt pour les auxiliaires. Le choix final des espèces entrant dans la composition des haies pourra s'appuyer sur cette liste, qui peut éventuellement être complétée en évitant les espèces présentant un inconvénient majeur. Dans cet objectif, l'annexe 8 contient également la liste des arbres étudiés mais non retenus et précise le motif. Enfin, il faudra veiller à ce que les espèces retenues permettent d'assurer la présence :

- d'arbres de hauteur variable depuis le bourrage bas jusqu'à l'arbre de haut jet
- de feuillage toute l'année, grâce à des espèces aux feuillages marcescent et sempervirent
- de fleurs le plus longtemps possible, en utilisant des espèces à floraison précoce (dès la sortie de l'hiver) et tardive (de la fin de l'été à l'automne).

Concernant la ligne d'arbres anti-érosion, plusieurs possibilités sont ouvertes : soit cette ligne est conduite comme une haie composite qui séparera de façon prononcée les deux parties de parcelles ; soit elle est conduite comme un alignement d'arbres intra-parcellaire produisant du bois d'œuvre ou du bois énergie, soit on utilise une bande enherbée à la place pour faciliter la gestion de la parcelle. Dans le premier cas, le choix des espèces s'effectue de la même manière que pour les autres haies à planter. Dans le second cas, le choix de l'espèce (ou des espèces) sera à faire en fonction du débouché envisagé en privilégiant des espèces susceptibles d'avoir une croissance satisfaisante en coteaux calcaire. Enfin, si les arbres sont remplacées par une bande enherbée, tout aussi efficace contre l'érosion, la composition de celle-ci pourrait être la même que celle des autres bandes enherbées de l'exploitation.



Proposition d'aménagements d'habitats semi-naturels au domaine de la Hourre. Pascale Métails, Aout 2013

Aménagements proposés	Habitats linéaires
Type	type
— Arbre anti-érosion	— bande_enherbee
— Bande enherbée anti-érosion	— broussaille
— Bande fleurie	--- chemin
— Haie	— haie

Figure 24: Proposition d'aménagements d'habitats semi-naturels au domaine de la Hourre

D'autre part, afin de compléter les jeunes haies multispécifiques plantées en 2009 et 2010, les espèces à feuillage persistant ou marcescent et à floraison précoce ou tardive sont à favoriser. En voici quelques-unes particulièrement intéressantes :

- Le laurier-tin (*Viburnum tinus*) – feuillage persistant et floraison précoce
- Le noisetier (*Corylus avellana*) – floraison précoce
- Le lierre (*Hedera helix*) – feuillage persistant et floraison automnale
- Les ronces (*Rubus* spp) – floraison jusqu'en août, à laisser pousser de manière contrôlée
- Le buis (*Buxus sempervirens*) – feuillage persistant et floraison précoce
- Le chimonanthé (*Chimonanthus praecox*) – floraison hivernale
- Le charme (*Carpinus betulus*), le chêne pédonculé (*Quercus robur*) et le chêne pubescent (*Quercus pubescens*) – feuillage marcescent (à l'exception du chêne pédonculé), réservoir de biodiversité.

Enfin, les saules (Saule blanc, *Salix alba*, et Saule marsault, *Salix caprea*) sont des espèces intéressantes pour la biodiversité, notamment grâce à leurs floraisons précoces (parfois dès février). Ils pourraient être introduits en complément des frênes, le long du fossé entre LH6 et LH7. En effet, les saules, et surtout le saule blanc, ont besoin d'eau et la présence de roseaux à massette dans ce fossé laisse penser que les conditions seront favorables aux saules.

3.2.2.1.3 Gestion

Afin de limiter l'impact sur la biodiversité au minimum, il est préférable de réaliser l'entretien en hiver, quand il fait froid et si possible lorsqu'il gèle. L'utilisation du lamier, qui coupe les branches au lieu de les dilacérer comme le fait l'épareuse, favorisera la nidification des Pemphredoninae, des prédateurs des pucerons qui nichent dans la moelle des branches. D'autre part, il n'est pas nécessaire de détruire les ronces et le lierre, tant qu'ils ne sont pas envahissants. Enfin, conserver des souches ou des tas de bois mort dans les haies permet d'héberger une grande quantité d'insectes, dont notamment des carabes.

3.2.2.2 Aménagement de moyen terme : les bandes enherbées et bandes fleuries

Les bandes enherbées sont déjà nombreuses et bien implantées. Par contre, quelques bandes fleuries permettraient de compléter la diversité et la qualité des habitats semi-naturels de l'exploitation. Enfin, une bande enherbée parallèle aux courbes de niveau à mi-pente de la parcelle LH6A nord contribuera à limiter l'érosion, en complément de la haie en haut de coteaux.

3.2.2.2.1 Localisation

Trois zones d'intérêt ont été identifiées pour les bandes fleuries :

- De part et d'autre de la ripisylve : celle au Sud permettra d'attirer plus précocement les insectes en fin d'hiver et celle au Nord conservera des fleurs plus tardivement après la sécheresse estivale.
- En lisière Sud de la jachère : c'est la zone la plus chaude car elle est abritée et se réchauffe rapidement. Elle est donc le lieu privilégié par les insectes pour passer l'hiver. Cependant, cette lisière est particulièrement sèche, ce qui limite le choix d'espèces fleuries.
- En bas de la jachère pour compléter le rôle de celle qui est en lisière mais sur un sol moins sec où plus d'espèces pourront pousser.

3.2.2.2.2 Choix des espèces pour les bandes fleuries

Les bandes fleuries sont un moyen d'introduire des plantes dont la floraison a lieu lorsqu'il y a peu de fleurs dans la nature, c'est-à-dire en fin d'hiver et en fin d'été. Un mélange de 25 espèces a été mis au point par Nentwig *et al.* (1998, dans Barbosa, 1998). Ce mélange résulte de plusieurs années d'essais sur une large gamme de plantes, assemblées en fonction de leur hauteur, leur pérennité et leur période de floraison. Enfin, les proportions ont été étudiées pour limiter le coût du mélange tout en ayant une bonne efficacité sur les auxiliaires. La liste des espèces et leur proportion est donnée

CREAB - Auch

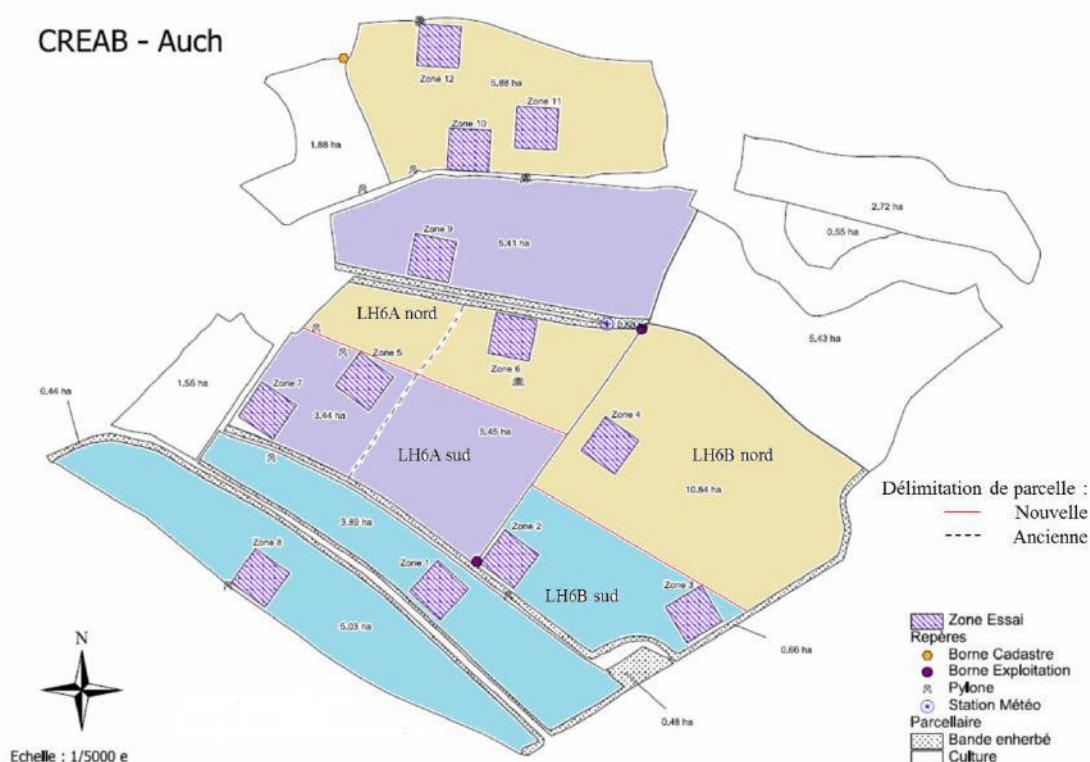


Figure 25: Regroupement des parcelles en fonction de leurs caractéristiques et des objectifs visés : en bleu les parcelles profondes où la culture du soja est possible ; en beige les parcelles pour lesquelles la priorité est l'amélioration du statut organique et de la nutrition azotée ; en violet les parcelles à risque érosif avec priorité à la gestion des adventices et à la suppression du labour. Carte réalisée par Pascale Métais en août 2013, à partir de la carte réalisée par Nicolas Barthès (2GA) en 2007.

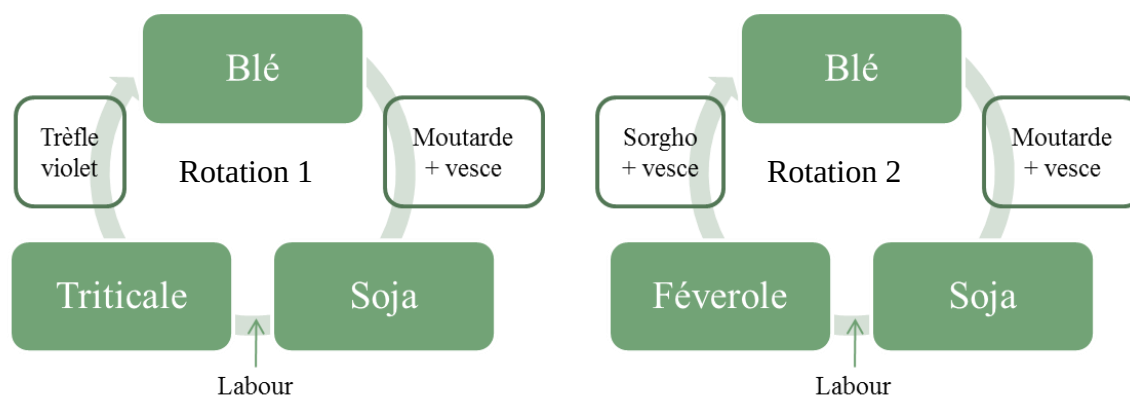


Figure 26: Rotation sur les parcelles profondes

en annexe 9. Elle est complétée par les espèces retenues par Minelli (2012). Enfin, l'origan (*Origanum vulgare*) sera particulièrement adapté aux conditions sèches du haut de la jachère, où les autres plantes du mélange risquent de souffrir du manque d'eau.

3.2.2.2.3 Entretien des bandes fleuries, des bandes enherbées et de la jachère

L'entretien des bandes fleuries, des bandes enherbées et de la jachère est à réaliser de préférence en hiver, lors de périodes de froid ou de gel durant lesquelles l'activité des insectes est quasi nulle. Le broyeur peut être utilisé à cette période, sinon la faucheuse est à privilégier : elle détruit moins les plantes, et permet aux insectes de finir de butiner les fleurs coupées. De préférence, la fauche de la jachère est à commencer en bas pour finir en haut, le long de la lisière. Enfin, un grattage superficiel du sol des bandes fleuries, tous les deux ans, permet un re-semis des fleurs et allonge la durée de vie de la bande.

En cas d'infestation des bandes fleuries par des adventices vivaces (chiendent, rumex, liseron, chardon des champs), il faudra détruire la bande fleurie pour éviter la propagation de ces adventices et l'envahissement des parcelles.

3.2.3 **Conduite des parcelles**

Trois groupes de parcelles, aux caractéristiques agronomiques similaires, ont été construits, visibles sur la Figure 25 :

1. Les parcelles profondes, de vallée (LH7 et LH8), auxquelles on peut ajouter LH6B Sud. Ces parcelles présentent une réserve utile suffisante pour produire du soja sans irrigation. Les objectifs visés sur ces parcelles sont :
 - a. réduire la flore adventice estivale
 - b. améliorer l'indice de nutrition azotée du blé
 - c. augmenter le niveau de matière organique
2. Les parcelles à faible teneur en matière organique et déficit azoté : LH1, LH6A Nord et LH6B Nord. Les objectifs visés sur ces parcelles sont :
 - a. augmenter le niveau de matière organique
 - b. améliorer la disponibilité de l'azote (augmenter la teneur du sol en azote organique et l'INN) et du phosphore
3. Les parcelles à risque érosif, LH4 et LH6A Sud, où les objectifs visés sont :
 - a. limiter le risque érosif
 - b. maîtriser les adventices hivernales
 - c. passer en technique de travail du sol sans labour
 - d. augmenter ou maintenir le niveau de matière organique

Pour chaque groupe de parcelles, deux propositions de rotation incluant des cultures intermédiaires et des périodes favorables au labour sont présentées ici.

3.2.3.1 Les parcelles profondes

Sur ces trois parcelles, il est possible de cultiver du soja avec un objectif de rendement et une espérance de marge brute de bon niveau. Or le CREAB MP souhaite en cultiver sur au moins une parcelle chaque année du fait des fortes marges dégagées qui sécurisent la trésorerie. Les rotations proposées sont donc des rotations de trois ans, incluant une année de soja (Figure 26) :

- Rotation 1 : **blé** → moutarde blanche + vesce pourpre → **soja** → **triticale** → trèfle violet
- Rotation 2 : **blé** → moutarde blanche + vesce pourpre → **soja** → **féverole** → sorgho fourrager + vesce pourpre

L'introduction d'une seconde culture d'hiver (triticale ou féverole) devrait contribuer à réduire la pression des adventices estivales, puisque les cultures favorables à leur retour seront moins fréquentes (soja tous les trois ans au lieu de deux). Afin d'interrompre les cycles des adventices, notamment en cas de fort développement des adventices d'hiver, une lentille peut être implantée à la place de la féverole.

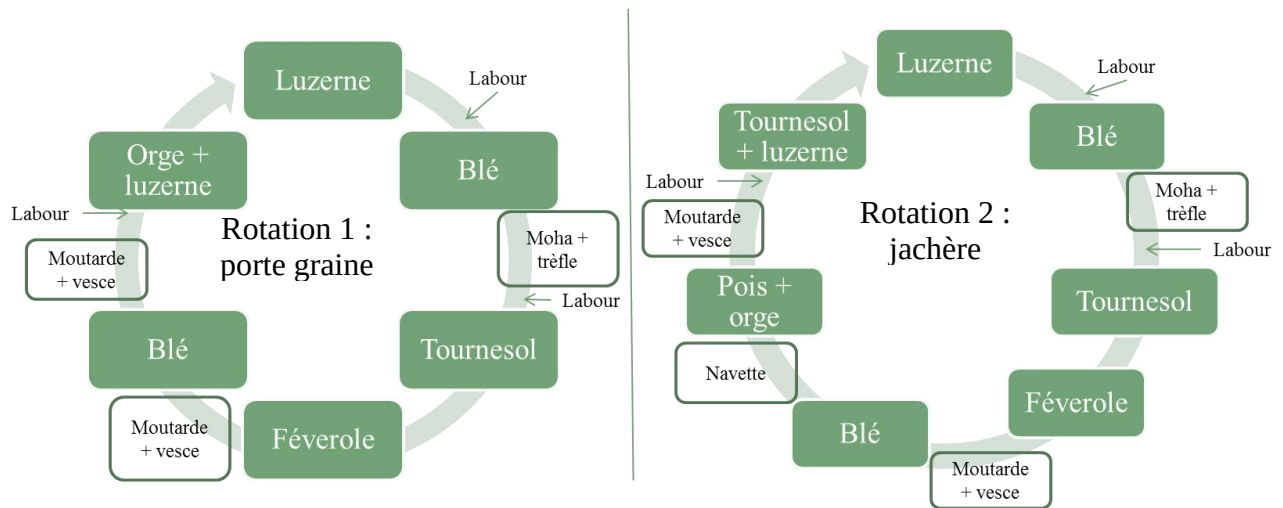


Figure 27: Rotation sur les parcelles à faible niveau de matière organique

Cependant la lentille est une culture « salissante » car basse, peu couvrante et peu concurrente vis-à-vis des adventices. La gestion des adventices est complétée par l'utilisation de cultures ou cultures intermédiaires étouffantes (triticale, sorgho). Enfin, le labour tous les trois ans permet d'enfouir régulièrement les graines d'adventices et d'attendre que leur pouvoir germinatif ait diminué avant de les remettre en surface par le labour suivant. L'utilisation du labour tous les 3 ou 4 ans est une technique particulièrement efficace pour réguler les levées de panic pied de coq (une des adventices estivales ciblées) dont la persistance des graines dans le sol est faible (Cetiom, 2012) . Ce labour sera effectué entre le soja et le triticale ou la féverole, seule interculture trop courte pour qu'une culture intermédiaire puisse se développer.

D'autre part, le blé bénéficiera de la minéralisation de l'azote acquis par les cultures intermédiaires. D'après les mesures effectuées sur les zones de référence de la Hourre, les résidus de trèfle violet semé sous couvert de céréale restituent un surplus de minéralisation d'environ 20 kg d'azote minéral par hectare pour la culture suivante. On peut supposer que la fourniture par la culture intermédiaire sorgho fourrager – vesce pourpre après féverole sera au moins du même ordre. Cette fourniture d'azote pourra donc se substituer aux engrais organiques actuellement utilisés. Depuis 2009, la fertilisation apportée est en moyenne de 86 kg/ha d'azote organique, avec un coefficient apparent d'utilisation (CAU) allant de 0,2 à 0,3 suivant les produits (Prieur, 2013), soit une fourniture de 17 à 26 kg d'azote minéral par hectare pour la culture de blé. Enfin, des essais réalisés au CREAB MP ont montré que le précédent féverole puis culture intermédiaire donne de bien meilleurs résultats sur blé que le précédent soja (Prieur et Justes, 2006)

De plus, l'enfouissement répété de cultures intermédiaires contenant des légumineuses va enrichir le sol en azote organique et induire à moyen terme (5 à 10 ans) des effets significatifs et donc mesurables (Constantin *et al*, 2010). En effet, seul un tiers de l'azote capté par la culture intermédiaire est restitué à la culture suivante et le reste est stocké dans le sol sous forme d'azote organique. La minéralisation régulière d'une partie de ce stock d'azote organique augmentera la quantité d'azote minéral disponible pour les cultures à moyen terme. On peut donc espérer une amélioration de l'INN du blé par une double cause : i) par un effet à court terme du précédent (avec la restitution d'azote issu de la décomposition de la culture intermédiaire) et dans quelques années, ii) par un effet cumulatif sur la minéralisation basale en azote des matières organiques humifiées du sol.

Enfin, le taux de matière organique devrait aussi augmenter à long terme, en conséquence de l'enfouissement répété de cultures intermédiaires et de la restitution des pailles de triticale particulièrement abondantes.

3.2.3.2 Les parcelles à faible teneur en matière organique et déficit azoté

Sur ces parcelles, le principal facteur limitant identifié est la nutrition azotée, conséquence d'une faible teneur du sol en azote organique et en matière organique. Il a été choisi d'utiliser la luzerne comme tête de rotation pour apporter de l'azote organique au sol. De plus la restitution de coupes de luzerne contribuera à long terme à enrichir le sol en matière organique. Cependant, la luzerne est difficilement valorisable localement : il n'y a pas d'usine de déshydratation et très peu d'élevage d'herbivores. Deux alternatives sont possibles : soit la luzerne est utilisée comme porte graine avec valorisation de la production de semence, soit la luzerne est conduite comme une jachère, intégralement restituée à la parcelle. Une rotation est proposée pour chacune des deux alternatives (Figure 27) :

- Rotation 1, luzerne porte graine : **luzerne** → **blé** → moha + trèfle d'Alexandrie → **tournesol** → **féverole** → moutarde blanche + vesce pourpre → **blé** → moutarde blanche + vesce pourpre → **orge de printemps** + **luzerne**
- Rotation 2, luzerne restituée : **luzerne** → **blé** → moha + trèfle d'Alexandrie → **tournesol** → **féverole** → moutarde blanche + vesce pourpre → **blé** → navette → **pois** + **orge** → moutarde blanche + vesce pourpre → **tournesol** + **luzerne** (semis sous couvert)

La luzerne cultivée comme tête de rotation pourra être valorisée soit en porte graine, soit en jachère. La porte graine est valorisée économiquement, mais demande un semis à 5 kg/ha maximum, ce qui la rend moins étouffante contre les adventices. De plus sa faible densité risque de limiter les quantités d'azote fixé et de matière organique restituée, et une seule fauche peut être réalisée par an en plus de la récolte des graines. L'utilisation de la luzerne en jachère ne permet pas de valorisation économique immédiate, mais elle est proposée dans la mesure où le CREAB MP utilisait déjà des jachères, à base de trèfle violet. La luzerne est alors semée à une densité normale qui permet de bénéficier de toutes ses qualités (culture étouffante et concurrente, fixation d'azote atmosphérique et restitution de biomasse) et les fauches peuvent être nombreuses pour épuiser les adventices. Le semis de la luzerne simultanément à une culture de printemps permet de bénéficier de 2 ans de luzerne tout en conservant un revenu sur la parcelle la première année. La culture semée avec la luzerne sera préférentiellement de l'orge de printemps ; en effet, l'orge d'hiver talle fortement, ce qui rend délicat tout semis sous couvert d'orge. Si de l'orge est déjà cultivée l'année précédente, la luzerne pourra être semée avec du tournesol, mais la concurrence pour l'eau sera un peu plus forte, avec probablement un impact sur le rendement du tournesol. Enfin, pour ne pas immobiliser la parcelle trop longtemps, la luzerne ne sera maintenue que deux ans (dont une seule année en culture pure). Cependant, une année supplémentaire de luzerne reste possible pour épuiser les adventices vivaces si elles sont trop présentes.

Le labour sera utilisée après la luzerne afin d'assurer sa destruction. Il pourra également avoir lieu avant les cultures de printemps, permettant ainsi une restructuration optimale du sol sous l'action du gel et du dégel. Afin que ces labours soient possibles, les cultures intermédiaires avant les cultures de printemps sont constituées d'espèces gélive (moha) ou sensible à l'hiver (trèfle d'Alexandrie). Entre le blé et le tournesol, si le gel a suffisamment détruit la culture intermédiaire, un passage de cultivateur lourd sera utilisé à la place du labour qui aura déjà été réalisé à l'automne précédent pour retourner la luzerne.

Dans la seconde rotation, l'association pois + orge est utilisé dans l'objectif de produire du pois, c'est-à-dire avec une forte proportion de pois. L'orge est utilisée pour limiter le salissement par son effet couvrant, et réduire la pression du puceron vert du pois. Elle a été préférée à d'autres céréales car son cycle est celui qui correspond le mieux au cycle de développement du pois. L'utilisation d'une culture associée étouffante est particulièrement importante dans la mesure où il s'agit de la troisième culture d'hiver consécutive dans la rotation. Etant donné que l'objectif est de produire du pois, il n'est pas nécessaire que la culture intermédiaire précédente apporte beaucoup d'azote. Une CIPAN cultivée seule a donc été choisie, et la faible teneur du sol en azote après cette CIPAN devrait favoriser le pois.

Deux leviers complémentaires sont utilisés pour améliorer la nutrition azotée :

1. L'introduction d'azote dans le système par les légumineuses, soit en cultures principales (luzerne, féverole et pois) soit en interculture (trèfle et vesce). L'apport d'engrais organique sur blé n'est plus nécessaire car le blé bénéficiera de la minéralisation soit de la luzerne soit du mélange moutarde + vesce. Il en va de même pour l'orge après blé et moutarde + vesce.
2. Le recyclage de l'azote présent par les cultures intermédiaires, et principalement les non-légumineuses. L'azote minéral ainsi piégé sera en partie restitué à la culture suivante tandis que l'autre partie contribuera à l'enrichissement du sol en azote organique et sera disponible à plus long terme.

D'autre part, les restitutions répétées de biomasse (luzerne, culture intermédiaires et résidus de culture) contribueront à moyen ou long terme à augmenter le stock de matière organique du sol. Ceci se traduira à terme par une minéralisation plus importante et donc par une augmentation de la fourniture d'azote par le sol. Cependant, dans les parties les plus pauvres et les moins productives, notamment en haut de la parcelle LH1, la production de biomasse risque d'être insuffisante pour réellement enrichir le sol en matière organique. Dans ce cas, un apport exogène est envisageable,

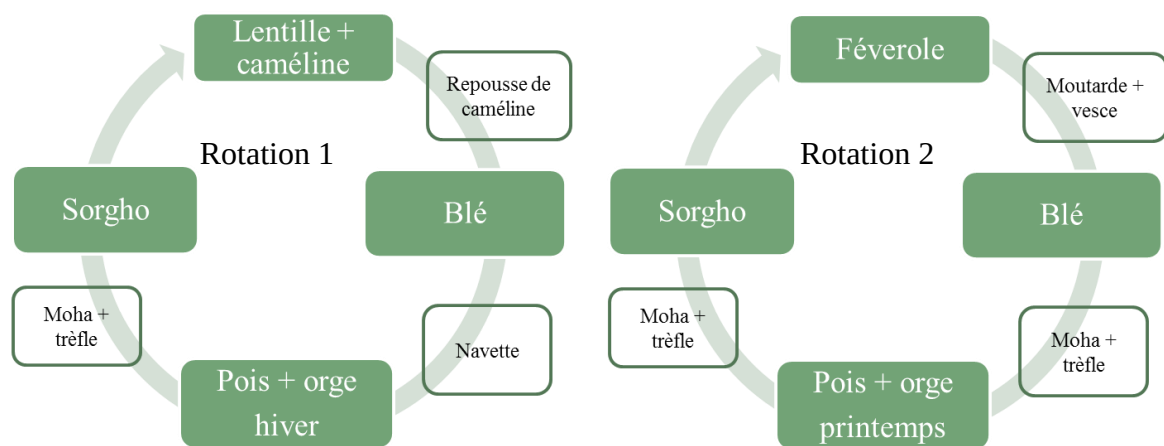


Figure 28: Rotation sur les parcelles à risque érosif

par exemple en utilisant le foin de luzerne que le lycée agricole de Auch – Beaulieu ne parvient pas à valoriser autrement.

3.2.3.3 Les parcelles à risque érosif

La maîtrise du risque érosif passe par une combinaison de diverses solutions complémentaires :

1. utiliser des lignes d'arbres ou des bandes enherbées permettant de freiner l'érosion,
2. couvrir le sol le plus longtemps possible à l'aide de cultures intermédiaires,
3. éviter les cultures d'été ou de printemps binées qui sont particulièrement sensibles à l'érosion de fin de printemps,
4. limiter le travail du sol et particulièrement le labour.

Sur ces parcelles LH4 et LH6A sud, exposées au sud et sans problème de réessuyage, le non labour paraît envisageable, à condition de maîtriser les adventices. Une attention particulière est donc portée sur ce point dans la construction de la rotation, ce qui se traduit par une alternance de culture d'hiver, printemps et été (Figure 28) :

- Rotation 1 : **Lentille + caméline** → repousse de caméline → **blé** → navette → **pois + orge** → moha + trèfle incarnat → **sorgho**
- Rotation 2 : **Féverole** → moutarde blanche + vesce pourpre → **blé** → moha + trèfle incarnat → **pois de printemps + orge** → moha + trèfle incarnat → **sorgho**.

Ici aussi l'association pois + orge est utilisée dans l'objectif principal de produire du pois, ce qui justifie l'utilisation d'une CIPAN seule dans l'interculture précédant un semis d'hiver d'orge + pois. Par contre, avant un semis de printemps, le mélange moha + trèfle incarnat sera préféré pour sa capacité à pousser en hiver. La caméline semée avec la lentille est utilisée comme tuteur pour faciliter la récolte de la lentille, mais ne sera pas récoltée. Ses repousses auront le rôle de CIPAN pendant l'interculture suivante.

La gestion des adventices passe par l'utilisation de cultures couvrantes ou étouffantes, telles que le sorgho et l'association pois + orge. Elle est complétée par l'alternance de cycles de cultures différents, avec deux cultures d'hiver, une de printemps et une d'été. Comme culture d'été, le sorgho est préféré au tournesol parce qu'il présente moins de risque d'érosion, et il est probablement moins sensible au non labour. Pour les cultures de printemps, l'utilisation de la lentille est possible, mais c'est une culture salissante et très difficile à récolter, surtout en pente puisqu'il faut que la coupe soit toujours au ras du sol. L'association de printemps pois + orge, est une autre alternative, moins risquée vis-à-vis des adventices et de l'érosion. L'utilisation de cultures associées dans la rotation peut engendrer des difficultés de tri. Il peut être réalisé au lycée agricole d'Auch – Beaulieu mais l'association entraînera plus de coût de tri qu'une culture pure.

Afin de limiter l'érosion, les cultures intermédiaires sont détruites le plus tardivement possible, en fin d'hiver. L'association de moha et trèfle incarnat permet d'avoir un développement rapide du moha en fin d'été, qui sera détruit par les premières gelées. Le trèfle incarnat qui a la capacité de pousser en hiver prendra alors le relais. Cette association est donc privilégiée avant les cultures de printemps ou d'été. D'autre part, le labour pourra ainsi être supprimé et le travail du sol devra être réalisé perpendiculairement à la pente pour accroître cet effet antiérosif.

Enfin, l'enfouissement répété de cultures intermédiaires au cycle de développement long va assurer le maintien ou l'amélioration du statut organique de ces parcelles à long terme.

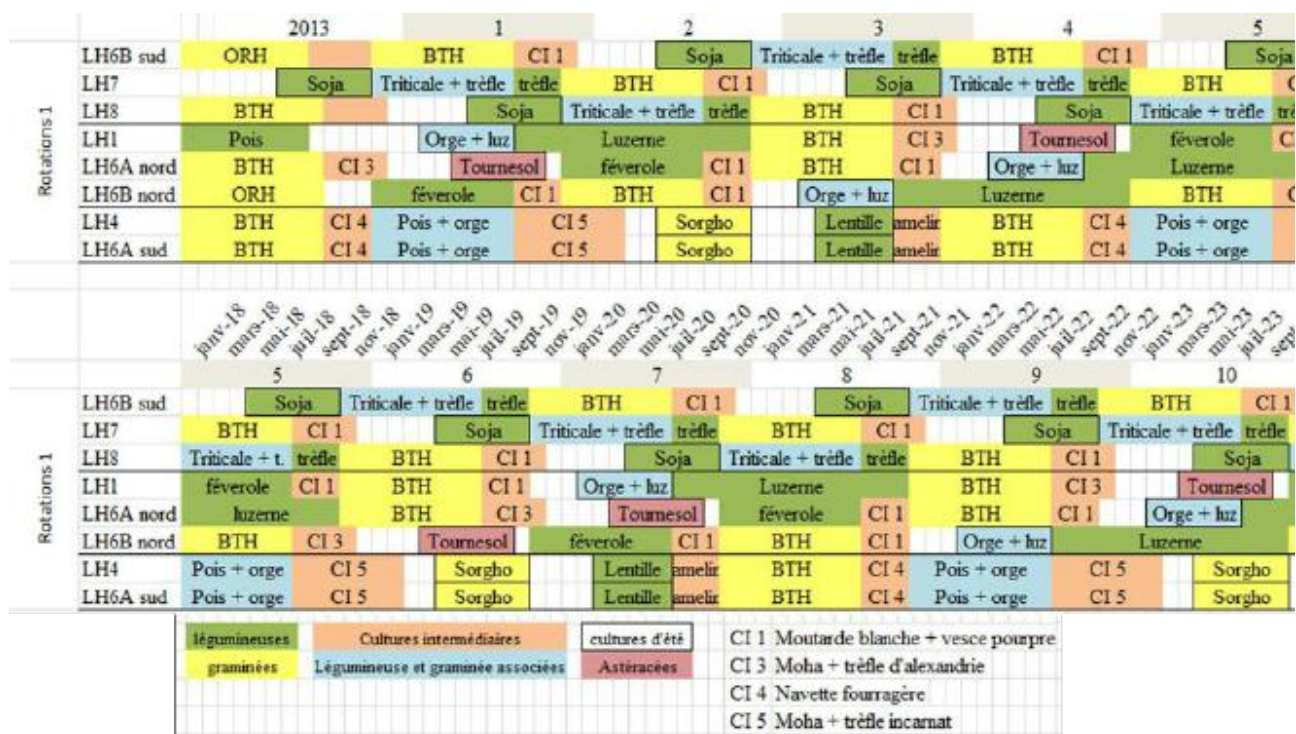


Figure 29: Assolement et calendrier d'occupation du sol dans l'hypothèse où les rotations 1 sont retenues pour chaque groupe de parcelle

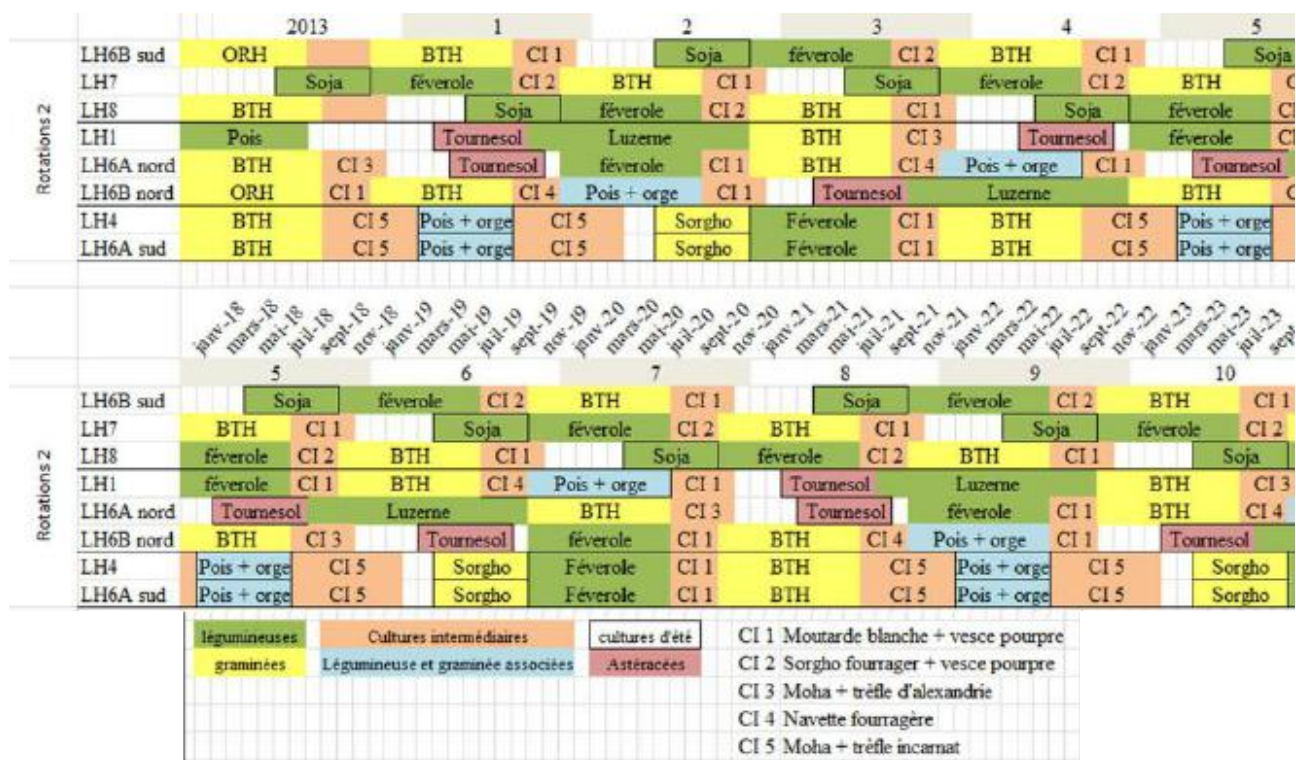


Figure 30: Assolement et calendrier d'occupation du sol dans l'hypothèse où les rotations 2 sont retenues pour chaque groupe de parcelle

3.2.3.4 Conclusion

Les rotations proposées s'appuient sur une intégration quasi systématique des cultures intermédiaires pour rendre divers services écosystémiques : i) couvrir le sol et limiter l'érosion, ii) améliorer la nutrition azotée et restituer de la matière organique au sol, et iii) compléter les techniques de gestion des adventices utilisées (substitution du faux semis avec destruction mécanique et éventuel effet allélopathique). Afin d'optimiser les chances de réussir la culture intermédiaire malgré la sécheresse estivale généralement observée à Auch, il sera nécessaire de :

- retarder au maximum le travail profond pour éviter d'assécher le sol avant le semis ;
- privilégier un semis tardif, à partir de mi-août, pour bénéficier des orages de fin août qui favoriseront la germination et la levée, sauf si les précipitations ont été abondantes en juillet, offrant de bonnes conditions potentielles de levée ;
- semer la culture intermédiaire en combiné pour maximiser le contact sol-graine et donc augmenter les chances de levée malgré les conditions non optimales. Suivant la taille des mottes après le combiné, le passage du rouleau peut être utile.

Sur trois parcelles, la culture du soja est possible. Sur trois autres, la luzerne sera utilisée comme tête de rotation et enfin deux parcelles pourraient être conduites sans labour. A partir des rotations proposées, deux calendriers d'occupation du sol ont été construits (l'un à partir des rotations 1 et l'autre à partir des rotations 2) afin de vérifier la cohérence de l'assolement dans le temps (Figure 29 et Figure 30). Bien que non présentées ici, d'autres combinaisons de rotations restent possibles.

Les rotations proposées ici permettent d'avoir une culture de soja, de blé et de féverole chaque année sur l'exploitation, ce qui est important soit pour une raison économique (soja), soit pour la réalisation des essais analytiques annuels (blé et féverole en particulier). De plus, les parcelles LH2, LH3 et LH9 qui ne font pas partie du suivi à long terme de la Hourre n'ont pas été intégrées dans cette étude. Ces parcelles, notamment LH9, peuvent permettre d'équilibrer l'assolement en cas de besoin pour la réalisation des essais analytiques. Sinon, leur conduite peut être assimilée à la conduite d'autres parcelles de l'exploitation, comme c'est le cas actuellement.

3.3 Propositions pour le suivi de l'évolution de la fertilité des sols et de la biodiversité

Afin d'étudier l'intérêt de l'intensification agroécologique et d'en évaluer l'impact sur la ferme de la Hourre, un suivi de l'évolution du dispositif est nécessaire. Pour cela, la première étape est la réalisation d'un point « zéro », afin de connaître l'état initial avant mise en œuvre des modifications proposées. Ensuite, des mesures devront être faites à différentes fréquences pour évaluer l'évolution par rapport à l'état initial. Enfin, des essais analytiques complémentaires permettraient de tester des solutions encore trop peu connues pour être appliquées à toute la ferme.

3.3.1 **Réalisation d'un point zéro**

Les mesures réalisées depuis 10 ans sur le domaine de la Hourre et l'analyse qui en a été faite dans ce rapport constituent déjà une part importante de la réalisation du point « zéro » notamment vis-à-vis de la fertilité du sol en P, N et matière organique. Cependant, des mesures et des suivis complémentaires semblent nécessaires :

3.3.1.1 Etat structural et activité biologique du sol

Les données sur le sol actuellement disponibles concernent essentiellement les aspects chimiques, mais très peu d'informations existent sur la structure et l'activité biologique du sol. La profondeur d'enracinement a pu être estimée grâce aux mesures d'humidité mais des profils culturaux confirmeraient les résultats obtenus. Ces profils permettraient d'identifier la cause des faibles enracinements : semelle de labour, présence d'un horizon mollassique, etc. Une méthode simplifiée peut être utilisée à la place du profil culturel, lourde à mettre en œuvre. La structure du sol peut être appréhendée par exemple grâce à la mesure de la densité apparente, l'utilisation d'un pénétromètre, la méthode « Visual Soil Assessment » (VSA) ou le test simplifié à la bêche mis au point dans le cadre du projet SolAB. Ces méthodes sont présentées sommairement en annexe 10.

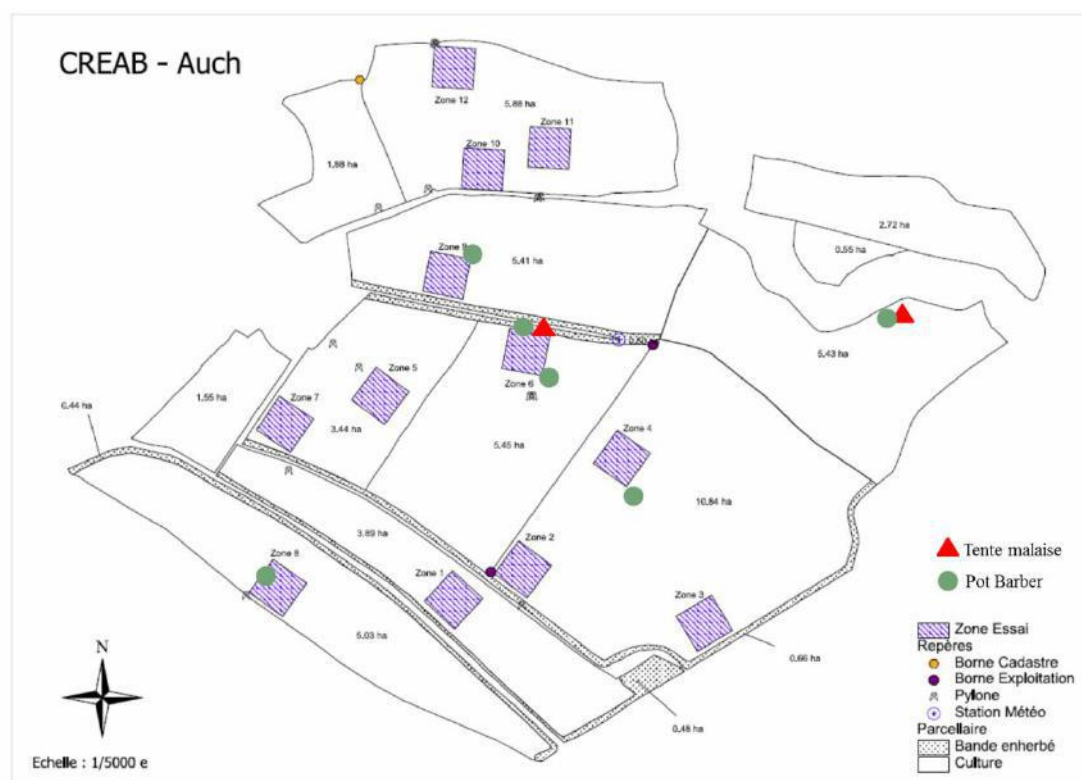


Figure 31: Localisation des pièges de suivi de la biodiversité, de mai à juillet 2013. Carte réalisée par Pascale Métails en mai 2013, à partir de la carte réalisée par Nicolas Barthès (2GA) en 2007.

La connaissance de l'état structural initial du sol permettra également d'évaluer l'impact du non labour et de l'utilisation de cultures intermédiaires sur la structure du sol. En effet, la réduction du travail du sol peut entraîner une compaction du sol avant un retour progressif à l'équilibre (Peigné *et al.*, 2012). L'impact des cultures intermédiaires sur la structure du sol est moins bien renseigné et varie fortement suivant le type de sol (Labreuche, 2011), mais il est assez bien établi que les cultures intermédiaires améliorent la structure des horizons superficiels (Justes *et al.*, 2012). Afin de ne pas multiplier les mesures et le temps nécessaire à leur réalisation, il semble judicieux de prévoir trois zones d'études de la structure : i) dans une des parcelles destinées au non labour, ii) dans une parcelle de coteaux labouré tous les 3 ou 4 ans et enfin iii) une en vallée.

D'autre part, nous n'avons pas d'information actuellement sur la présence ou non de mycorhizes dans les sols de la Hourre, or celles-ci peuvent avoir un rôle important dans la nutrition phosphatée (Mure, 2005; Richardson *et al.*, 2009). De plus, les changements de pratiques proposés, notamment la suppression du labour et l'utilisation de cultures intermédiaires peuvent avoir un effet positif sur les mycorhizes (Justes *et al.*, 2012). Il en va de même pour la présence de vers de terre, qui devrait aussi être influencé par les solutions proposées (Peigné *et al.*, 2009; Médiène *et al.*, 2011). Le suivi du taux de mycorhization serait donc intéressant pour évaluer l'impact de ces changements. Cette mesure est prévue à la Hourre dans le cadre du futur projet CASDAR InnovAB 2.

3.3.1.2 Biodiversité et régulations biologiques

Aucun suivi n'a été réalisé avant cette étude concernant la biodiversité et les régulations biologiques à l'exception de mesures spécifiques pour des essais analytiques. Dans le cadre de ce travail, les habitats écologiques présents sur l'exploitation ont été cartographiés. En complément, il serait intéressant de réaliser un suivi des principaux auxiliaires et des notations concernant les ravageurs ou les dégâts qu'ils causent.

Concernant les auxiliaires, un suivi de la biodiversité par piégeage a été mis en place cette année de fin mai à mi-juillet. Il a été réalisé à l'aide de pièges d'interception : deux tentes Malaise pour piéger les insectes volants et six pots Barber pour piéger les insectes rampants. Leur localisation est donnée sur la Figure 31. Les deux tentes malaises ont été installées en deux points les plus différents possibles : l'une est au point le plus haut de l'exploitation, dans la jachère, en bordure de bois, abritées du vent et loin des parcelles cultivées. La seconde est en plein centre des parcelles, dans un point plus bas et éloignés de haies âgées. Un pot Barber a été placé au pied de chaque tente malaise afin d'avoir un piégeage des insectes volant et rampants au même endroit. Ensuite, deux autres pièges Barber ont été disposé en vis-à-vis l'un sur le versant sud (à l'angle de la ZR 9) et l'autre dans le versant nord (ZR 6). Enfin, un pot Barber est présent en haut de coteaux (ZR 4) et un en vallée (ZR 8). Afin de faciliter le repérage de l'emplacement des pièges, tous les pots Barber ont été positionné à l'angle d'une zone de référence, à l'exception de ceux aux pieds des tentes malaises. Le nombre de pièges Barber est relativement réduit, sans répétition, mais permet de couvrir différents micro-habitats et de ne pas multiplier le temps de travail pour assurer la bonne réalisation du suivi. La campagne de piégeage a eu lieu du 27 mai au 12 juillet 2013, avec un relevé hebdomadaire des pièges. L'objectif de ces dates de piégeage est d'observer la faune du mois de juin, la plus intéressante pour les régulations biologiques (Jean-Pierre Sarthou, communication personnelle, 3 mai 2013). Dans l'avenir, afin de piéger cette entomofaune du mois de juin malgré les décalages climatiques existant entre les années, il faut prévoir une campagne de piégeage de mi-mai à mi-juillet.

Etant donné les conditions climatiques très particulières de ce printemps (humide et froid), une deuxième campagne de suivi en 2014 sera nécessaire pour avoir un état initial plus fiable.

Parallèlement au suivi des auxiliaires, il semble important de connaître la pression des maladies et ravageurs, soit par un suivi direct, soit par la notation des dégâts causés. Pour ce faire, les protocoles utilisés pour la réalisation des bulletins de santé du végétal peuvent être utilisés.

3.3.1.3 Temps de travail

Enfin, en dehors des questions agronomiques ou écologiques, le temps de travail est un élément important à suivre. En effet, si les solutions proposées induisent une forte hausse du temps de travail, elles seront difficilement acceptées malgré leur bien-fondé agronomique. A l'inverse, si l'essai au CREAB montre que l'intensification agroécologique n'induit pas de hausse du temps de travail, ceci peut faciliter la diffusion de ces pratiques en agriculture biologique. Pour ce faire, il faudrait mesurer ou estimer le temps passé aux différents travaux actuellement réalisés. En complément, il sera aussi intéressant de pouvoir estimer la complexité de gestion du système et la technicité requise, mais ces paramètres qualitatifs et subjectifs sont difficilement estimables.

3.3.2 Proposition d'indicateurs pour le suivi agroécologique

Les principaux objectifs des modifications proposées concernent la nutrition azotée, le taux de matière organique et l'enherbement. Ce sont donc les trois paramètres à évaluer en priorité, en continuant les mesures actuellement réalisées (analyse chimique, minéralisation de l'azote, teneur des plantes et calcul de l'INN). Etant donné la dynamique actuelle, le phosphore est également un élément à suivre.

Le principal levier agronomique proposé est l'utilisation de cultures intermédiaires bispécifiques, qui peuvent avoir des conséquences sur de nombreux paramètres : nutrition azotée des plantes, teneur en éléments organiques du sol, structure du sol, présence de mycorhizes, évolution de la dynamique du phosphore, etc. En particulier, nous avons fait l'hypothèse que l'utilisation de cultures intermédiaires permettra de mobiliser du phosphore peu accessible et ainsi d'augmenter la teneur du sol en phosphore assimilable. Afin de vérifier cette hypothèse, il serait intéressant de conserver une zone sans culture intermédiaire (comme actuellement), comprenant une zone de référence. Ceci permettrait d'avoir un point de comparaison pour évaluer l'impact des cultures intermédiaires sur la dynamique du phosphore mais aussi sur l'azote et la matière organique. Etant donné sa dynamique actuelle, la ZR 3 serait un témoin intéressant à conserver.

D'autre part, le dispositif de la Houre pourrait être utilisé pour apporter des données et répondre à différentes questions, ce qui demanderait de réaliser des suivis supplémentaires :

- Quel est l'impact du passage au non labour et/ou des cultures intermédiaires sur la structure du sol, l'enherbement et les mycorhizes ? L'évaluation de l'état structural et des analyses de mycorhization tous les 3 à 5 ans permettront de voir l'effet à moyen et long termes du non labour et des cultures intermédiaires, tandis que l'enherbement demande des mesures plus fréquentes (annuelles).
- Quel est l'impact du changement de système sur les régulations biologiques ? Le suivi de la biodiversité (des auxiliaires et des ravageurs) proposés pour l'état « zéro » mérite d'être réalisé tous les 3 à 5 ans pour évaluer l'impact des mesures mises en œuvre. La cartographie des habitats pourra être réalisée à intervalle de temps plus long.

Enfin, il sera nécessaire de réaliser le calcul des marges brutes et semi-nettes tous les ans afin de connaître le réel impact économique des modifications mises en œuvre à court et moyen termes. Cette approche économique pourra être complétée par une mesure du temps de travail et la réalisation d'un bilan énergétique.

3.3.3 Propositions d'essais complémentaires :

En plus du suivi du dispositif, des essais analytiques complémentaires peuvent permettre d'acquérir plus de connaissances sur le domaine et d'affiner la gestion du système, notamment concernant les cultures intermédiaires.

3.3.3.1 Destruction des cultures intermédiaires en sortie d'hiver

Hormis sur les parcelles à risque érosif, il est proposé de détruire les cultures intermédiaires à l'entrée de l'hiver avant les cultures de printemps afin de bénéficier de conditions favorables au travail du sol à suivre favoriser la restitution d'azote à la culture de vente suivante. Or une destruction en sortie d'hiver permettrait d'accumuler une biomasse plus importante et de protéger le sol durant l'hiver pour éviter la dégradation de l'état structural. La minéralisation hivernale à la Hourre libère de l'ordre de 10 à 15 kgN/ha d'après la grille de calcul de la minéralisation nette de l'humus du Comifer. Un essai analytique serait utile pour rendre compte des possibilités de destruction tardive de diverses cultures intermédiaires et de l'impact que cela peut avoir sur le ressuyage, la disponibilité en eau et azote, et les conditions d'implantation de la culture suivante. La gestion des cultures intermédiaires sur les parcelles de la Hourre pourra ensuite être ajustée en fonction des observations réalisées lors de ces essais.

3.3.3.2 Impact des cultures intermédiaires sur la teneur en protéine du blé

L'utilisation de cultures intermédiaires associant une espèce non légumineuse et une légumineuse doit permettre de transférer de l'azote à la culture suivante dans des quantités équivalentes à celles apportées par la fertilisation organique, compte tenu du faible CAU des engrais épandus. Par contre, la dynamique de minéralisation de cette culture intermédiaire sera dépendante du climat. Une minéralisation précoce en fin d'hiver ou début de printemps sera favorable à la production de biomasse du blé et donc au rendement, mais est-ce que la quantité d'azote disponible sera suffisante en fin de cycle pour obtenir des taux de protéine satisfaisants ? Un essai pluriannuel permettrait d'évaluer l'impact des cultures intermédiaires sur le taux de protéines du blé et de comparer les résultats obtenus à ceux réalisés avec la fertilisation organique. Etant donné le fort effet du climat de l'année sur la minéralisation, l'essai devra être conduit sur plusieurs années pour produire des résultats opérationnels.

3.3.3.3 Semis de trèfle sous couvert de céréale

Le semis de trèfle sous couvert de céréale est une technique utilisée à la Hourre dans l'objectif d'augmenter la fourniture d'azote par le sol pour la culture suivante. Plusieurs années ont été nécessaires pour mettre au point l'itinéraire technique de semis du trèfle, adapté en fonction de la céréale et notamment de sa dynamique de couverture du sol en sortie d'hiver. Actuellement, uniquement le trèfle violet est utilisé, or le trèfle incarnat présente des caractéristiques agronomiques *a priori* plus intéressantes. Un essai analytique permettrait d'évaluer l'intérêt du trèfle incarnat en fonction de la céréale dans laquelle il est semé et de la date de semis (simultanée à la céréale, lors du dernier passage de herse étrille).

3.3.3.4 Itinéraires techniques d'implantation des cultures intermédiaires

Bien que quelques préconisations existent sur la conduite des cultures intermédiaires, il est important de travailler sur la mise au point d'itinéraires techniques optimisés et adaptés aux conditions pédoclimatiques locales. Les questions à étudier exposées ci-dessous.

- Choix des espèces : quelles sont les espèces les plus adaptées suivant les objectifs ?
- Travail du sol avant le semis de la culture intermédiaire : faut-il retarder tout travail pour conserver l'humidité du sol, ou au contraire déchaumer superficiellement pour détruire les adventices prêtes à grainer et limiter les remontées capillaires ?
- Technique de semis : faut-il toujours utiliser le semis en combiné, sécuritaire mais coûteux ? Quand peut-on préférer un semis direct ou à la volée, plus économiques ?
- Date de semis : est-ce qu'il vaut mieux semer sous couvert de la culture de vente, post-moisson, en juillet, fin août ?

4 Discussion

4.1 Discussion des résultats

4.1.1 Résultats du diagnostic

L'analyse des données collectées sur la ferme de la Hourre depuis 10 ans a fait avancer la compréhension sur le plan des performances agronomiques. Les approches économique et écologique sont venues enrichir le diagnostic et ont permis de prendre conscience d'atouts sous-estimés jusque-là.

En effet, la cartographie des habitats a révélé la présence de nombreux et divers habitats semi-naturels et donc d'un réel potentiel de régulation biologique sur le domaine de la Hourre. La présence de nombreux auxiliaires semble se confirmer au vu de la quantité d'insectes piégés lors de la première campagne de suivi de la biodiversité réalisée cette année. L'identification de ces insectes permettra d'être plus précis sur la qualité de l'entomofaune présente et les régulations biologiques possibles.

D'autre part, le calcul des marges brutes et semi-nettes par zone de référence a apporté des enseignements à trois niveaux :

- Relation entre productivité et marges : sans surprise, les différences de productivité entre ZR se répercutent dans les marges. C'est le principal facteur expliquant les différences de marges obtenues, avec la présence de cultures dégageant un produit élevé, comme le sorgho.

- Relation entre culture et marge : l'intérêt économique du soja est confirmé, mais contre toute attente le sorgho offre de meilleurs résultats, qui sont cependant plus variables et pour lesquels nous ne disposons que de deux années de recul. Le tournesol est aussi particulièrement intéressant : ses résultats sont légèrement inférieurs au soja et au sorgho mais il faut préciser qu'il y a eu une année sans récolte. Enfin, le blé dégage des marges relativement faibles : malgré une meilleure valorisation, les marges du blé sont moins bonnes que celle de l'orge (respectivement 619 €/ha et 926 €/ha de marge semi-nette). La principale explication est la fertilisation organique, qui représente une charge de 250 à 300 €/ha/an sur blé tandis qu'elle est d'environ 100 €/ha/an sur orge.

- Charges de mécanisation : le coût des différents passages d'outils a été estimé, ce qui peut orienter les choix d'itinéraires techniques. Cependant, ces estimations sont calculées dans l'hypothèse où l'amortissement du matériel se fait uniquement sur l'exploitation de la Hourre, alors qu'il est souvent utilisé sur les autres exploitations du lycée d'Auch-Beaulieu. De plus, les outils les plus chers à l'achat, comme par exemple le semoir combiné ou la herse rotative gonflent les charges de mécanisation du fait de leur amortissement, alors qu'en réalité l'amortissement continuera à avoir lieu même s'ils sont moins utilisés à l'avenir. L'indicateur de consommation de carburant semble donc être plus adapté pour choisir les outils à utiliser parmi ceux déjà à disposition de la Hourre.

D'un point de vue agronomique, ce diagnostic a confirmé l'hétérogénéité des résultats selon les zones de référence et souligne un potentiel intéressant malgré des améliorations possibles. Le principal facteur limitant identifié est de loin l'azote, tant au niveau de la quantité d'azote organique dans le sol (souvent conséquence d'un faible taux de matière organique) que de l'INN des céréales. A l'inverse, le diagnostic montre que malgré les très faibles teneurs en P Olsen du sol, le phosphore n'est pas un facteur limitant à l'heure actuelle. Aucune conséquence de la baisse du P Olsen n'est visible dans les teneurs en P des plantes et des grains, les INP ou les rendements. Cependant, il reste encore beaucoup à comprendre sur la dynamique du phosphore à la Hourre. Les données actuelles ne permettent pas un recul suffisant pour identifier des tendances nettes. Par exemple, les mesures d'INP n'ont été réalisées que deux à trois fois sur une même culture et une même zone de référence, ce qui ne permet pas de tirer des conclusions fiables.

Le manque de répétition s'est souvent fait sentir dans l'analyse des données. En effet, chaque mesure est unique, et correspond à une culture donnée sur une ZR précise et pour une année fixée. En conséquence, la comparaison des ZR entre elles nécessite soit d'utiliser des données issues de

cultures différentes, soit d'années différentes. Par exemple, on peut comparer la production du blé sur les différentes ZR, mais s'il n'est revenu que deux à trois fois par ZR, l'effet année fausse probablement la comparaison : il peut y avoir eu des décalages de dates de semis ou de forts déficits hydriques printaniers. De même, certaines cultures comme le pois ou la lentille ont été trop peu souvent cultivées à la Hourre pour comparer leurs effets sur la quantité d'azote minéral disponible pour la culture suivante. En particulier, la technique de semis de trèfle violet sous couvert a été mise au point trop récemment pour tirer des conclusions sur l'intérêt de cette pratique.

La hiérarchisation des facteurs limitants a été un autre élément délicat dans la réalisation de ce diagnostic. En effet, il s'agit d'éléments très divers, dont les effets ne sont pas dissociables les uns des autres. Par exemple, comment savoir si les adventices ou le manque d'azote sont prioritairement responsables d'un rendement inférieur à l'objectif ? Il faudrait faire des mesures de biomasse et de teneur en azote des adventices pour estimer le niveau de compétition, ce qui est coûteux.

Enfin, il est indispensable de rappeler que ce diagnostic n'est pas exhaustif et demande à être complété par d'autres indicateurs lors de la réalisation du point « zéro ». En effet, faute de temps, il a été choisi de se concentrer sur l'analyse des données déjà collectées puis de proposer les mesures supplémentaires à réaliser. Ainsi, la structure du sol par exemple n'a pas été directement étudiée alors qu'elle a un rôle primordial dans l'enracinement et le développement des cultures. Enfin, bien que l'enracinement ait été appréhendé en analysant les résultats des mesures d'humidité du sol, il serait judicieux de réaliser des fosses pour confirmer ces résultats et mesurer la densité apparente du sol, ceci afin de mieux estimer la RU.

4.1.2 Scénarios proposés

4.1.2.1 Evaluation agroécologique

4.1.2.1.1 Régulations biologiques

Les aménagements proposés devraient contribuer à attirer des auxiliaires. En effet, plusieurs auteurs ont montré que la présence d'infrastructures paysagères et d'habitats non cultivés favorisent la présence d'auxiliaires (Pollard et Holland, 2006; Holland *et al.*, 2008; Rusch *et al.*, 2010; Chaplin-Kramer *et al.*, 2011). Comme la présence d'auxiliaires diversifiés augmente le contrôle biologique (Halaj et Wise, 2001; Letourneau *et al.*, 2009), on peut espérer une réduction de la pression des ravageurs. Cependant, il reste très difficile de prévoir l'ampleur réelle de cette réduction et l'impact sur la production.

4.1.2.1.2 Autonomie en azote et nutrition azotée

Les scénarios proposés devraient permettre d'accroître l'autonomie en azote et d'améliorer la nutrition azotée des cultures non légumineuses. D'une part, les cultures les plus exigeantes en azote, notamment les céréales, ont été placées après des précédents culturels favorables (le blé est cultivé après féverole, luzerne ou lentille et le sorgho après une association pois-orge à dominance pois). D'autre part, les cultures intermédiaires sont quasi systématiquement composées d'une espèce de légumineuses afin de renforcer la fourniture d'azote à la culture de vente suivante (effet à court terme). En effet, l'utilisation de légumineuses en culture intermédiaire peut très probablement remplacer l'apport d'engrais organique azoté. Par exemple, dans l'essai réalisé à la Hourre en 2006 sur précédent féverole, le blé cultivé après une culture intermédiaire offre de meilleurs rendements que celui fertilisé à l'aide d'engrais organiques. L'INN est également amélioré (Prieur et Justes, 2006). D'après un premier essai à Auzeville, le mélange de moha et trèfle incarnat contient 66 kg d'N/ha après 3 mois de croissance (Hélène Tribouillois, communication personnelle, 31 juillet 2013). Si on estime qu'environ 30 % sera restituée à la culture suivante (Eric Justes, communication personnelle, 1^{er} août 2013), la fourniture d'azote sera donc de l'ordre de 20 kg d'N/ha, en plus de la minéralisation en azote de l'humus du sol, soit autant que la quantité d'azote efficace fournie par la fertilisation organique. Toutefois, l'effet positif de la culture intermédiaire sur la culture suivante n'est pas systématique (Thorup-Kristensen et Dresboll, 2010), il dépend, entre autres, des conditions climatiques et du risque de lixiviation, en plus de la quantité de biomasse et du ratio C/N

des résidus enfouis. Lorsque l'automne est humide, de l'azote qui aurait été perdu par lixiviation est capté par la culture intermédiaire puis sera en partie restitué pour la culture suivante. Par contre, si l'automne est sec, la culture intermédiaire absorbe de l'azote minéral qui serait resté entièrement disponible dans le sol et n'en restituera qu'une partie, ce qui peut pénaliser la culture suivante, par ce qui est appelé un effet de préemption d'azote. L'utilisation de mélanges avec 50 % de légumineuses vise d'abord à limiter ce risque, et ensuite à accroître le taux de minéralisation des résidus de cultures intermédiaires en combinant un effet engrais vert à l'effet CIPAN, permettant ainsi de restituer plus d'azote minéral (Justes *et al.*, 2012). L'apport d'azote par les cultures intermédiaires pourra remplacer la fertilisation organique du blé et du sorgho sans perte de rendement. Par contre, il est difficile de prévoir la dynamique de minéralisation de la culture intermédiaire, sans connaître son C/N, et donc l'impact sur la teneur en protéines du blé : est-ce que la minéralisation sera précoce grâce à un printemps doux, ce qui favorisera la production de biomasse et le rendement, ou tardive et donc favorable à la réalisation de taux de protéines élevés ? Enfin, on peut aussi espérer une hausse des rendements des cultures peu ou pas fertilisées (orge et tournesol) en réponse à une plus grande disponibilité de l'azote à court et à moyen terme.

4.1.2.1.3 Taux de matière organique du sol

Les restitutions répétées de cultures intermédiaires vont avoir pour conséquence, à moyen et long termes, une augmentation du stock de matière organique du sol. De nombreuses études *in situ* ont évalué l'effet à long terme des cultures intermédiaires sur le stock de carbone et d'azote du sol. Les résultats obtenus sont contrastés suivant les situations : les cultures intermédiaires contribuent souvent à l'augmentation du stock de carbone et d'azote, avec des taux de conversion de la biomasse végétale en carbone stocké pouvant être élevés (de l'ordre de 30%, voire plus), mais l'effet des cultures intermédiaires n'est pas toujours vérifié, parfois par manque de précision dans les mesures à cause de la variabilité spatiale des sols (Constantin *et al.*, 2010; Justes *et al.*, 2012).

4.1.2.1.4 Gestion des adventices

La gestion des adventices a été un critère stratégique dans la construction des rotations. L'utilisation de cultures intermédiaires devrait contribuer à limiter la pression des adventices par divers mécanismes : i) les cultures intermédiaires appliquent une concurrence directe sur les adventices pour la lumière, l'eau et les nutriments ; ii) elles modifient les conditions de milieu, ce qui peut limiter la germination et le développement des adventices ; enfin, iii) certaines cultures intermédiaires ont un effet allélopathique qui réduit la germination des adventices. De plus, le semis puis la destruction des cultures intermédiaire se substitue à la réalisation de faux semis si la période de germination des adventices coïncide avec la date de semis de la culture intermédiaire et que la destruction a lieu avant la production de graines (Justes *et al.*, 2012). Cependant, il faut une destruction complète de la culture intermédiaire pour limiter les éventuelles repousses, concurrentes pour la culture suivante. Il convient aussi d'indiquer que les cultures intermédiaires ne sont pas toujours efficaces, surtout en cas d'infestation d'adventices vivaces, où d'autres techniques sont nécessaires (passage en luzerne et fauches fréquentes par exemple).

La construction des rotations vise à alterner les cultures d'hiver avec les cultures d'été ou de printemps. Cependant, les cultures de printemps ou d'été possibles en coteaux sont relativement rares car les stress hydriques estivaux sont quasi systématiques et parfois très forts. Il est d'autant plus difficile de trouver des cultures adaptées que le CREAB MP ne peut pas se permettre d'utiliser trop fréquemment des cultures de niches. En effet, les agriculteurs observent ce qui est fait au CREAB MP, et s'il utilise les cultures de niches avec succès, de nombreux agriculteurs pourraient être amenés à en faire autant, au risque de saturer le marché et de voir les prix s'effondrer. Dans ce contexte, les coopératives souhaitent que le CREAB MP n'utilise les cultures de diversification que dans des situations exceptionnelles en réponse à un problème agronomique (Alain Larribeau et Serge Rostomov, communication personnelle, 17 juillet 2013). Lorsque la proportion de cultures d'hiver est élevée, les cultures étouffantes ou fortement couvrantes ont été privilégiées, telles que la

Tableau 11: Estimation des variations des marges brute et semi-nette (en €/ha) en réponse à l'introduction de cultures intermédiaires, suivant les cultures et les cultures intermédiaires. CI 1 : moutarde blanche + vesce pourpre ; CI 2 : sorgho fourrager + vesce pourpre ; CI 3 : moha + trèfle d'Alexandrie ; CI4 : navette ; CI 5 : moha + trèfle incarnat.

Culture		Blé		Orge	Sorgho	Tournesol		Soja	Pois + orge
nom de la CI		CI 1	CI 2	CI 1	CI5	CI 1	CI 3	CI 1	CI 5
Charges opérationnelles	Coût semence (a)	82,2	97,5	82,2	40	82	35	82,2	40
	Economie engrais (b)	239	239	94	256	0		0	0
	Total (c=a-b)	-157	-141	-12	-216	82	35	82	40
Charges mécanisation	Semoir combiné (d)	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7	78,7
	Déchaumeur à ailettes (e)	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8	36,8
	Epandeur à engrais (f)	10,6	10,6	10,6	10,6	0	0	0	0
	Total (g=d+e-f)	104,9	104,9	104,9	104,9	115,4	115,4	115,4	115,4
Charges carburant	Semoir combiné (h)	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4
	Déchaumeur à ailettes (i)	7,92	7,92	7,92	7,92	7,92	7,92	7,92	7,92
	Epandeur à engrais (j)	2,4	2,4	2,4	2,4	0	0	0	
	Total (k=h+i-j)	18,92	18,92	18,92	18,92	21,32	21,32	21,32	21,32
Evolution des marges	Marge brute (= -c)	157	141	12	216	-82	-35	-82	-40
	Marge semi-nette (= -c-g-k)	33	17	-112	92	-219	-172	-219	-177

féverole, l'orge et surtout l'association orge-pois qui permet de limiter efficacement le salissement du pois (Bedoussac *et al.*, 2012). Enfin, sur la majorité des parcelles, le labour aura lieu à une fréquence de 3 à 4 ans, ce qui est connu pour être la fréquence la plus performante pour la lutte contre les adventices (Colbach *et al.*, 2009).

4.1.2.1.5 Réduction voire suppression du labour

La réduction de la fréquence du labour devrait permettre une économie d'énergie et de temps de travail : le labour à la Houre consomme 1 532 MJ/ha et demande 1h20 de travail par hectare en moyenne (Pelletier, 2008). Les techniques sans labour en agriculture biologique sont risquées, principalement à cause de la difficulté de gestion des adventices (Peigné *et al.*, 2012). Afin de maximiser les chances de réussite, il est important que les adventices soient bien maîtrisées avant de décider de la suppression du labour. La parcelle LH4 sur laquelle est proposée la suppression du labour est actuellement soumise à une forte pression des adventices, essentiellement le vulpin, le ray-grass et le pâturin. Aussi, il est préférable sur cette parcelle de continuer temporairement à utiliser le labour pour réduire cette pression. Ces adventices se sont développées fortement suite à plusieurs cultures mal gérées, et notamment à l'implantation d'un blé derrière luzerne sans labour pour détruire la luzerne. A priori, la rotation proposée, avec une alternance des cycles de cultures et l'utilisation de cultures intermédiaires et de cultures étouffantes devrait éviter que le problème ne se reproduise. Toutefois, il faudra rester particulièrement vigilant sur ce point.

En conclusion, toutes les solutions et tous les leviers agroécologiques pourraient encore être approfondis : les cultures intermédiaires pourraient être détruites plus tardivement avant cultures de printemps, le travail du sol pourrait être encore simplifié, les cultures associées pourraient occuper une part plus large. Mais ces techniques demandent un savoir-faire et de la technicité qui s'acquiert peu à peu, comme en témoigne Jack de Lozzo, agriculteur dans le Gers utilisant ces techniques. Cette étude propose une première étape d'intensification agroécologique, qui pourra ensuite être améliorée au fur et à mesure de l'acquisition d'expérience et de connaissances via ce dispositif et des essais analytiques complémentaires.

4.1.2.2 Evaluation économique

L'impact économique de l'introduction des cultures intermédiaires a été évalué à partir de calculs simplifiés. Ce calcul est réalisé « à court terme » et donc pour l'effet sur la culture suivante vis-à-vis de la nutrition azotée. Malheureusement les effets à moyen et long termes ou vis-à-vis de la réduction des adventices ne sont pas pris en compte car ils sont difficilement quantifiables (pas de référence dans la bibliographie). En conséquence, les impacts positifs sur l'économie de ces effets sont probablement sous-estimés.

Les hypothèses de simplifications du calcul sont les suivantes :

- Charges opérationnelles :

Le coût des semences de culture intermédiaire a été estimé à partir des données d'Arvalis Institut du Végétal et de la Chambre Régionale d'Agriculture de Poitou Charentes (Labreuche, 2011; Minette, 2011). Les céréales cultivées après une culture intermédiaire ne sont pas fertilisées, car il est supposé que la culture intermédiaire se substitue à la fertilisation sans baisse de rendement (4.1.2.1). Ainsi, le coût des engrais est supprimé des charges opérationnelles en situation de cultures intermédiaires.

- Produits :

Les produits ne sont pas modifiés par l'introduction de la culture intermédiaire. On fait l'hypothèse que l'azote fourni par la culture intermédiaire remplace la fertilisation des céréales sans impact sur le rendement ni sur le taux de protéines, et qu'il n'a pas d'effet sur les autres cultures.

Tableau 12: Estimation de l'évolution des marges brutes et semi-nette (en €/ha) suite aux modifications de rotation sur les zones de référence 1 et 7 (parcelle LH7 et LH6A-sud respectivement).
 CI 1 : moutarde blanche + vesce pourpre ; CI 2 : sorgho fourrager + vesce pourpre ; CI 5 : moha + trèfle incarnat.

		Cultures	Marge brute	Marge semi-nette
ZR 7	Actuel	féverole - blé - tournesol		
		féverole	834	618
		blé	1956	1635
		tournesol	1455	1137
		orge	744	526
		total rotation	4989	3916
		moyenne annuelle	1247	979
	Proposition	féverole - CI1+blé - CI5+Pois+Orge - CI5+sorgho		
		féverole	834	618
		blé	2113	1668
		pois+orge	477	222
		sorgho	2263	2139
		total rotation	5686	4647
		moyenne annuelle	1422	1162
		Evolution	+175	+183
ZR 1	Actuel	blé - soja		
		blé	1710	1393
		soja	1327	1090
		total rotation	3037	2483
		moyenne annuelle	1519	1242
	Proposition	CI2 + Blé - CI 1 + soja - féverole		
		blé	1468	1107
		soja	1628	1174
		féverole	924	651
		total rotation	4020	2933
		moyenne annuelle	1340	978
		Evolution	-178	-264

- Charges de mécanisation et carburant :

Le travail du sol avant le semis de la culture intermédiaire est constitué d'un seul passage de déchaumeur, qui est déjà réalisé dans les itinéraires actuels et constitue la première étape du faux semis. Il n'y a donc pas de modification des charges de mécanisation à ce niveau. Ensuite, le semis est réalisé au semoir combiné puis la destruction de la culture intermédiaire est réalisée au déchaumeur à ailette. Enfin, le passage de l'épandeur à engrais est supprimé.

En s'appuyant sur ces hypothèses, le calcul montre que l'utilisation de cultures intermédiaires permettra d'augmenter les marges brutes et semi-nettes des cultures fortement fertilisées (blé et sorgho). En effet, la suppression des charges de fertilisation compense largement le coût des semences et du passage de semoir combiné. Par contre, dans le cas de cultures pas ou peu fertilisées, les marges seront réduites (Tableau 11). La compensation entre charges n'a pas lieu lorsqu'il n'y a pas ou peu de charges de fertilisation. Cependant, il est fort probable que la fourniture d'azote par la culture intermédiaire entraîne une hausse du rendement et/ou du taux de protéines, ce qui n'a pas été pris en compte. L'impact économique sera donc probablement meilleur que celui calculé ici par défaut. De plus, l'utilisation du semoir combiné implique d'importantes charges de mécanisation, alors que certaines cultures intermédiaires, telles que la moutarde, peuvent être semées à la volée, qui est une technique beaucoup moins coûteuse mais plus risquée compte-tenu du climat.

Prenons l'exemple du tournesol : la marge brute est réduite de 82 à 35 €/ha suivant la nature de la culture intermédiaire, et la marge semi-nette de 219 à 172 €/ha. Si le tournesol se vend à 452 €/t comme c'était le cas en 2010, il faudrait une hausse du rendement de seulement 77 à 181 kg/ha (moins de 2 q/ha) suivant la nature de la culture intermédiaire pour compenser les coûts de semence, et de 380 à 484 kg/ha pour compenser la perte de marge nette en cas d'utilisation du semoir combiné. Or, d'après les résultats des zones de référence, le tournesol produit en moyenne 22,6 kg de grains par kg d'azote absorbé (dans les parties aériennes et les grains). Si on considère une fourniture d'azote supplémentaire de 20 kg/ha grâce à la culture intermédiaire, on peut donc espérer une hausse du rendement de 452 kg/ha, ce qui compense la hausse des charges opérationnelles et des charges de mécanisation et carburant. En 2011, le prix du tournesol était plus élevé, l'impact d'une culture intermédiaire aurait donc été largement positif.

Enfin, toujours à partir des hypothèses présentées ci-dessus, l'impact du changement de rotation sur les ZR 1 et ZR 7 a été évalué (Tableau 12). Sur la ZR 7, on peut espérer une hausse de la marge brute de 175 €/ha en moyenne, et 183 €/ha pour la marge nette. Ceci s'explique par la hausse des marges réalisées sur blé et la substitution du tournesol par le sorgho. En revanche, l'association pois – orge est moins rémunératrice que l'orge seule, mais la perte occasionnée est largement compensée à l'échelle de la rotation. Sur la ZR1, les résultats sont moins bons : les marges brutes et semi-nettes de la rotation vont diminuer respectivement de 178 et 264 €/ha. Cette baisse s'explique essentiellement par l'augmentation du temps de retour du soja, qui est cultivée tous les trois ans au lieu de tous les deux ans précédemment. Cependant, il ne faut pas perdre de vue qu'en parallèle une parcelle supplémentaire accueillera du soja.

En conclusion, les calculs simplifiés effectués montrent qu'il ne devrait pas y avoir d'impact économique négatif suite à l'introduction des cultures intermédiaires. L'impact des modifications de rotation est plus difficile à estimer à l'échelle de l'exploitation, il sera positif sur certaines parcelles et probablement négatif sur d'autres. Les calculs réalisés s'appuient sur des hypothèses simplificatrices nombreuses mais choisies toujours en défaveur des modifications proposées pour ne pas paraître trop optimiste. De ce fait, les chiffres avancés ici

ne sont pas à considérer comme des valeurs exactes, mais comme des ordres de grandeur minima. D'autre part, il est important de noter que des pertes économiques pourront être observées certaines années sur certaines parcelles, mais que des compensations auront à priori lieu sur les autres parcelles et les autres années. Il conviendrait donc de réaliser le calcul à l'échelle de l'exploitation pour avoir une estimation complète de l'effet sur la marge nette ou le résultat net de l'exploitation de la Hourre.

4.1.2.3 Evaluation énergétique

A partir des mêmes hypothèses que celles utilisées pour l'approche économique, l'impact énergétique de l'utilisation des cultures intermédiaires a été évalué (annexe 11). Il en ressort que la substitution de l'engrais par les cultures intermédiaires permet d'économiser 1 282 MJ/ha sur la culture de blé et 780 MJ/ha sur sorgho. Ceci s'explique par l'énergie indirecte liée à la fertilisation organique : il faut 24,9 MJ pour produire et transporter jusqu'à l'exploitation un kilogramme d'azote organique sous forme de farine de plumes hydrolysées (Pelletier, 2008). En revanche, sur culture pas ou peu fertilisée, la culture intermédiaire augmente la consommation énergétique : +920 MJ/ha sur tournesol, +965 MJ/ha sur soja et +269 MJ/ha sur orge. Ici aussi, les hypothèses réalisées sont toujours défavorables à la culture intermédiaire et ne prennent pas en compte les hausses de rendement possibles, qui auraient un impact sur l'efficacité énergétique de l'exploitation.

D'autre part, le bois issu de la taille des haies pourra être valorisé en bois énergie. Ceci augmentera la production d'énergie sur la ferme, et contribuera ainsi à l'amélioration de l'efficacité énergétique de l'exploitation.

4.1.2.4 Atteinte des objectifs à l'origine du projet

Les objectifs initiaux à l'origine du projet d'intensification agroécologique de la Hourre sont :

- Améliorer la durabilité de l'exploitation
- Mettre en place un dispositif permettant de répondre aux questionnements techniques des adhérents sur l'autonomie en azote, l'utilisation des cultures intermédiaires et le non labour.
- Evaluer le potentiel des régulations biologiques sur l'exploitation et les développer
- Etudier les possibilités d'agroforesterie, notamment en réponse à la demande exprimée par le président de la fondation Ludovic Lapeyrère, propriétaire du domaine.

Enfin, à ces objectifs s'ajoutent trois contraintes auxquelles doivent répondre les scénarios proposés. La première est de veiller à ce que les rotations et assolements proposés permettent toujours le bon déroulement des essais analytiques. Pour cela, il faut qu'il y ait chaque année sur l'exploitation au moins une parcelle en blé, une en féverole et un précédent légumineux. La seconde contrainte est d'ordre économique : ne pas abaisser voire augmenter le revenu dégagé. Enfin, la troisième contrainte est de ne pas allonger le temps de travail et trop complexifier le travail.

Les propositions réalisées répondent à ces contraintes tant au niveau expérimental (cf. 3.2.3.4) qu'économique (cf. 4.1.2.2). Les scénarios proposés s'appuient sur des techniques agro-écologiques, et semblent en mesure d'améliorer la fertilité et la durabilité de l'exploitation (cf. 4.1.2.1), bien qu'une évaluation expérimentale soit nécessaire pour le confirmer. Ce sera l'un des objectifs de la mise en œuvre des propositions. Des cultures intermédiaires ont été largement introduites, ce qui permettra d'étudier leur comportement, les techniques et dates de semis et de destruction optimales, les espèces les plus adaptées, etc. Les scénarios proposés devraient permettre l'autonomie en azote de l'exploitation (cf. 4.1.2.1), et suivant les parcelles, le labour a été supprimé ou espacé dans le temps.

Concernant les régulations biologiques, l'inventaire des habitats et la première phase de piégeage ont permis de prendre conscience du potentiel existant. Suite à cette étude, des aménagements complémentaires sont proposés pour optimiser les régulations biologiques et des suivis sont suggérés pour évaluer l'impact de ces aménagements.

Enfin, l'introduction de l'agroforesterie sous différentes formes a été étudiée. Les propositions faites ici concernent essentiellement la plantation et la conduite de haies, qui n'était peut-être pas la forme d'agroforesterie souhaitée par la fondation Ludovic Lapeyrère. Toutefois, après avoir rencontré de nombreux experts sur le sujet et complété les informations acquises par des lectures bibliographiques, cette forme d'agroforesterie est apparue comme la plus judicieuse sur l'exploitation de la Hourre. La construction d'un projet agroforestier à vocation de production de bois demanderait une étude spécifique plus approfondie, qui commencera par la réalisation de profil de sol en présence de spécialiste pour évaluer les possibilités d'enracinement des arbres et les risques de concurrence. Sur ces profils, des mesures de densité apparente, de pénétrométrie et des analyses physico-chimiques permettront de caractériser les éventuels horizons mollassiques. Il sera également nécessaire de réunir les différents acteurs autour d'une même table pour se mettre d'accord sur les objectifs visés : quel type de production de bois, dans un but économique ou expérimental ? Toutefois, il semble que la ferme de La Hourre, en système de coteaux sur sols à horizon molassique superficiel, ne constitue pas une situation adaptée à la mise en place de systèmes agroforestiers à l'intérieur des parcelles agricoles. Les propositions de compléter les haies actuelles en y intégrant des arbres constituent tout autant des techniques d'agroforesterie à l'échelle de l'exploitation et du paysage, plus judicieuses ici. Les informations recueillies lors des entretiens sont synthétisées dans l'annexe 12, qui expose les points-clés pour élaborer un projet agroforestier, les choix possibles et les intérêts et limites de l'introduction d'arbres dans les parcelles de la Hourre. Enfin, la valorisation des arbres existants, notamment pour la production de bois énergie, est une piste à approfondir, en contactant le CRPF et les acteurs de la filière bois énergie, apparemment en expansion dans la région (Ribelles, 2010).

4.2 Discussion de la démarche et des moyens mis en œuvre

Le point central et l'originalité de la démarche mise en œuvre ont été la réalisation d'un diagnostic détaillé, à l'échelle de l'exploitation et de chacune des parcelles. Ce diagnostic a permis de connaître les potentialités de l'exploitation et d'identifier les points à améliorer. Des objectifs précis et ajustés à chaque parcelle ont donc pu être définis. En conséquence, les propositions faites prennent en compte les caractéristiques spécifiques de chaque parcelle, ce qui paraît indispensable pour améliorer la durabilité. La démarche mise en œuvre a permis d'élaborer des scénarios cohérents et qui semblent pertinent par rapport aux objectifs initiaux. Cette démarche était adaptée à cette situation dans la mesure où de nombreuses données étaient déjà existantes pour la réalisation du diagnostic. Elle présente des atouts qui ont permis d'aboutir à des propositions d'intensification agroécologique de la ferme de la Hourre, mais elle reste perfectible à différents niveaux, détaillés ci-dessous.

4.2.1 Diagnostic

L'agroécologie étant une science qui repose sur l'approche globale et l'enrichissement mutuel de plusieurs disciplines (agronomie, écologie, science sociale, etc.), le diagnostic est aussi multidisciplinaire : diagnostic agronomique mais aussi approches écologique, énergétique et économique. De cette manière, deux des trois dimensions du développement durable ont pu être évaluées, à savoir les dimensions environnementale et économique. La dimension sociale n'a pas pu être abordée ici, faute de temps et d'informations précises, notamment sur les temps de travaux et leur pénibilité.

Etant donné le temps imparti et vu la quantité de données déjà présentes, l'étude a été limitée à l'analyse des données existantes. Les dix années de suivi de la fertilité et du développement des cultures de la Hourre donnaient déjà une matière conséquente à analyser et permettait de tirer de nombreuses conclusions. De plus, le calcul des marges était possible grâce à l'enregistrement régulier des factures, et une évaluation énergétique avait été réalisée en 2008. Les autres éléments qu'il aurait été intéressant de prendre en compte dans le diagnostic, tels que la structure du sol, l'activité biologique ou le temps de travail, ont été proposés dans les mesures de point zéro et de suivi à réaliser. Par contre, les données sur les régulations biologiques étant inexistantes, une collecte a été effectuée pendant ce stage pour pouvoir construire un premier diagnostic, qui sera bien sûr à enrichir avec les mesures à venir. La cartographie des habitats semi-naturels a pu être réalisée et analysée pendant le stage. Par contre, le suivi de la biodiversité n'a pas pu être analysé, faute de temps et de connaissances pour l'identification des insectes piégés. Ces observations pourront être complétées un peu plus tard puisque les insectes ont été conservés.

4.2.2 Méthode de conception des scénarios

Les sources d'informations et de connaissances utilisées pour définir les solutions à proposer sont la bibliographie et l'expertise. Ainsi, pas moins de 12 experts ont été rencontrés ou interrogés par téléphone pour apporter leur éclairage sur différents volets du projet. Ceci a permis de confronter différents avis et d'enrichir le projet tant au niveau de la démarche que des résultats.

Par contre, aucune méthodologie préexistante n'a été utilisée pour l'élaboration des scénarios. En effet, les méthodologies existantes concernent surtout la conception de systèmes de cultures innovants, mais peu l'intégration, à l'échelle de l'exploitation, de systèmes de cultures innovants, d'aménagements agroécologiques et de contraintes expérimentales, le tout appliqué aux grandes cultures biologiques sans élevage. Par contre, la méthode utilisée s'est appuyée sur les démarches employées dans d'autres dispositifs expérimentaux (projet d'agroécologie sur l'unité expérimentale de l'INRA d'Epoisses et plateforme « Techniques Alternatives et Biologiques »), et sur les conseils des maîtres de stages et différents experts rencontrés.

4.2.3 Evaluation des scénarios

La confrontation des scénarios proposés aux connaissances issues de la bibliographie, des visites et des échanges avec les experts a permis d'estimer qualitativement les évolutions que l'on peut attendre, et donc d'évaluer la pertinence des solutions apportées par rapport aux objectifs. Il aurait été intéressant de pouvoir réaliser une évaluation *a priori* plus précise de ces solutions, notamment à l'aide de la modélisation et des simulations. Cependant, ceci n'a pas pu être réalisé lors de ce stage parce qu'il n'existe pas à l'heure actuelle d'outil paramétré et rapidement fonctionnel pour évaluer à l'échelle de l'exploitation des systèmes aussi complexes que ceux proposés : système en agriculture biologique, utilisant des associations de culture et des cultures intermédiaires plurispécifiques. Enfin, l'impact des arbres et autres habitats semi-naturels est difficilement évaluable par modélisation dans un système aussi complexe. A titre d'exemple, la réalisation d'une étude multicritères à l'aide de l'outil MASC (Multi-attribute Assessment of the Sustainability of Cropping systems) serait intéressante, mais ceci demande du temps pour mettre à jour le paramétrage de l'outil. En effet, toutes les données économiques doivent être actualisées régulièrement, et le paramétrage qui a été fait à dire d'expert doit être adapté à notre situation pour aboutir à une évaluation cohérente. Il n'était pas possible, dans le temps de ce stage, de paramétrer un modèle, l'utiliser puis analyser finement les résultats obtenus. Par contre, cette analyse serait très intéressante pour la suite, notamment pour évaluer et améliorer si besoin le choix des solutions à mettre en œuvre.

Conclusion générale et perspectives

Le CREAB MP souhaite réaliser une intensification agroécologique de sa ferme expérimentale, la ferme de la Hourre. L'objectif est multiple : améliorer la durabilité de la ferme, utiliser des techniques innovantes et répondre aux questionnements techniques des agriculteurs sur l'autonomie en azote, l'utilisation des cultures intermédiaires et le non labour. Un état des lieux de la situation a été réalisé dans cette étude, ce qui a permis de proposer des scénarios d'intensification agroécologique à mettre en œuvre et des propositions de suivi du dispositif.

Principaux résultats :

La nutrition azotée est le principal facteur limitant la production des céréales à la Hourre. Les taux de matière organique des sols, et surtout d'azote organique sont bas, ce qui peut être une des causes des faibles indices de nutrition azotée. Le phosphore ne semble pas être limitant à l'heure actuelle, bien que la teneur du sol en phosphore mesurée par la méthode Olsen soit très faible et diminue régulièrement depuis 10 ans. Etant donné que le sol est laissé nu pendant un tiers du temps, de longues fenêtres sont disponibles pour planter des cultures intermédiaires qui pourront avoir un impact sur la nutrition azotée, la restitution de matières organiques, et les flux de phosphore. Afin de bénéficier à la fois d'entrée d'azote dans le système et du recyclage de l'azote, les cultures intermédiaires associant une légumineuse et une non légumineuse sont privilégiées.

La présence d'adventices est un autre facteur limitant conséquent à la Hourre. L'alternance de cultures d'été et d'hiver, l'utilisation de cultures étouffantes et la présence de cultures intermédiaires sont les trois principaux leviers agronomiques proposés pour maîtriser les adventices. En complément, un labour est proposé tous les trois à quatre ans, sauf sur les deux parcelles où des techniques sans labour pourraient être utilisées pour éviter l'érosion.

Le diagnostic a mis en évidence la présence d'habitats semi-naturels nombreux et diversifiés. Ceci laisse supposer qu'ils hébergent une grande variété d'auxiliaires. D'autre part, la première campagne de piégeage a mis en évidence la présence de très nombreux insectes qu'il va falloir identifier pour estimer le potentiel en régulations biologiques du domaine de la Hourre. Des propositions sont faites pour densifier le réseau d'habitats semi-naturels déjà conséquent. Cette forme d'agroforesterie semble la plus judicieuse dans le contexte de la Hourre. Un suivi sera nécessaire pour en évaluer l'impact sur les auxiliaires et les bioagresseurs.

Enfin, concernant les aspects économiques, les variations de marge entre les zones de référence reflètent bien les différences de productivité. Les cultures les plus rentables sont le soja, le sorgho et le tournesol. Le blé est fortement pénalisé par les charges de fertilisation organique élevées. L'utilisation des cultures intermédiaires devrait permettre de supprimer ces charges et donc d'augmenter les marges du blé.

Au vu de ces atouts et points faibles actuels identifiés sur le domaine de la Hourre, les scénarios d'intensification agroécologique réalisés contiennent des propositions :

- de découpage parcellaire ;
- d'aménagements agroforestiers autour des parcelles, à vocation d'habitats semi-naturels et qui pourront être valorisés en bois énergie ;
- d'habitats semi-naturels herbacés et de gestion des habitats existants ;
- de rotation, incluant des cultures intermédiaires, et qui prennent en compte les possibilités de commercialisation des productions ;
- de réduction et de suppression du labour.

Une première évaluation à l'aide de la bibliographie et de calculs simplifiés montre que les propositions d'intensification agroécologique devraient permettre de répondre aux objectifs de durabilité identifiés lors du diagnostic (nutrition azotée, taux de matière organique, maîtrise des adventices). De plus, les scénarios proposés utilisent les cultures intermédiaires, incluent des parcelles en non labour et permettent l'autonomie en azote. Le dispositif devrait donc permettre de répondre aux attentes des adhérents. Enfin, l'assolement respecte les contraintes expérimentales posées, et les marges semblent pas ou peu diminuées en première approche.

Perspectives :

Suite à ce travail, plusieurs étapes apparaissent comme importantes pour réussir la mise en œuvre de l'intensification agroécologique de la ferme de la Hourre :

Dans un premier temps, la réalisation d'un point zéro complet est nécessaire pour pouvoir ensuite suivre l'évolution du dispositif et évaluer l'impact des modifications apportées. Ce point zéro pourra s'appuyer sur le diagnostic réalisé, mais devra inclure d'autres paramètres qui n'ont pas pu être étudiés ici, notamment la structure et l'activité biologique du sol, le suivi des ravageurs et auxiliaires et le temps de travail. La réalisation du point zéro va demander de poursuivre plus finement le choix des indicateurs et des méthodes à employer, qui seront aussi à utiliser pour le suivi du dispositif. Ce suivi sera particulièrement important pour la réussite du projet puisqu'il permettra à la fois d'apporter des éléments de réponse aux questionnements techniques des adhérents et d'ajuster le pilotage du dispositif en fonction du niveau d'atteinte des objectifs.

Ensuite, avant la mise en œuvre des solutions proposées, il sera important de définir des règles de décision pour le pilotage des systèmes. Ces règles devront s'appuyer sur le suivi réalisé, tout en ayant une réflexion sur les échelles temporelles à considérer. Par exemple, la teneur en matière organique du sol et le salissement évoluent à des pas de temps bien différents, ce qui implique de prévoir un délai adapté pour juger de l'intérêt des solutions proposées et de la nécessité d'un ajustement des pratiques.

D'autre part, une évaluation des scénarios proposés à l'aide d'un outil d'évaluation multicritères permettrait d'éclairer les choix que devront faire les administrateurs du CREAB MP. Un regard critique, appuyé sur la bibliographie et l'expertise, a été porté sur les scénarios proposés dans cette étude, mais il n'a pas été possible de réaliser une évaluation a priori plus précise. Une telle étude serait intéressante pour valider ou adapter les propositions à retenir. Cependant, il s'agit là d'un travail conséquent puisqu'il faudra paramétrer un outil pour pouvoir prendre en compte toutes les spécificités des scénarios proposés. Ceci pourrait être réalisé à l'aide du calculateur MASC d'évaluation des systèmes de cultures ou sa déclinaison simplifiée et adaptée à l'agriculture biologique en Midi-Pyrénées, OFSAT (Organic farming system assessment tool mis au point par l'INRA et la Chambre d'agriculture de Midi-Pyrénées).

Au-delà du projet d'intensification agroécologique de la Hourre, la démarche utilisée ici pourrait être appliquée à d'autres projets de développement de l'agroécologie. En s'appuyant sur un diagnostic le plus précis possible de la situation de départ, elle permet de fixer des objectifs adaptés par parcelle. Il est donc possible de proposer des solutions répondant aux problématiques propres à chaque parcelle et adaptées au contexte local.

Bibliographie

- Agence Bio, 2012. La bio en France. Agence Française Pour Développement Promot. Agric. Biol. Consultable : <http://www.agencebio.org/la-bio-en-france> [Consulté le 14 mai 2013].
- Altieri M., 1989. Agroecology - a New Research and Development Paradigm for World Agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 27, 1-4, 37-46.
- Altieri M.A., 2000. Agroecology: principles and strategies for designing sustainable farming systems. Univ. Calif. Berkeley. Consultable : <http://www.biosafety-info.net/article.php?aid=291> [Consulté le 24 avril 2013].
- Altieri M.A., 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 93, 1-3, 1-24.
- Barbosa P.A., 1998. Sown weed strips : artificial ecological compensation areas as an important tool in conservation biological control. In : Academic Press (Eds), *Conservation Biological Control*, 133-153.
- Baudry O., Bourgerie C., Guyot G., Rieux R., 2000. Les haies composites réservoirs d'auxiliaires. Éditions Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, 105 p.
- Bedoussac L., Bernard L., Brauman A., Cohan J.P., Corre Hellou G., Desclaux D., Fustec J., Haefliger M., Hinsinger P., Journet E.P., Magrini M.B., Ridaura, S.L., Triboulet P., 2012. Les Cultures Associées Céréale / Légumineuse en agriculture « bas intrants » dans le Sud de la France. 27 p.
- Bedoussac L., Justes E., 2010. The efficiency of a durum wheat-winter pea intercrop to improve yield and wheat grain protein concentration depends on N availability during early growth. *Plant Soil*, 330, 1-2, 19-35.
- Bianchi F.J.J.A., Booij C.J.H., Tscharrntke T., 2006. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. *Proc. R. Soc. B-Biol. Sci.*, 273, 1595, 1715-1727.
- Bossut L., 2013. Caractérisation agronomique de mélanges bispécifiques non légumineuses et légumineuses de cultures intermédiaires multi services écosystémiques. Mémoire d'Ingénieur. INP Purpan, Toulouse. 90 p.
- Bunce R.G.H., Metzger M.J., Jongman R.H.G., Brandt J., De Blust G., Elena-Rossello P., Groom G.B., Halada L., Hofer G., Howard D.C., Kovar P., Múcher C.A., Padosa-Schioppa E., Paelinx D., Palo A., Perez-Soba M., Ramos I.L., Roche P., Skanes H., Wrabka T., 2008. A standardized procedure for surveillance and monitoring European habitats and provision of spatial data. *Landsc. Ecol.*, 23, 1, 11-25.
- CACG laboratoire agronomique, 2001. Etude pédologique, Domaine de la Hourre.
- Cetiom, 2012. Infloweb : Connaître et gérer la flore adventice. Consultable : <http://www.infloweb.fr/> [Consulté le 2 août 2013].
- Chambre d'agriculture du Gers, 2010. Directive Nitrates. Chambre d'Agriculture du Gers. Consultable : <http://www.gers-chambagri.com/nos-actions-conseils/environnement/fertilisation-directive-nitrates/directive-nitrates.html> [Consulté le 14 mai 2013].
- Chaplin-Kramer R., O'Rourke M.E., Blitzer E.J., Kremen C., 2011. A meta-analysis of crop pest and natural enemy response to landscape complexity. *Ecol. Lett.*, 14, 9, 922-932.
- Colbach N., Granger S., Munier-Jolain N.M., 2009. Using weed dynamics models for evaluating and developing integrated cropping systems. In : Association Française de Protection des Plantes (AFPP) (Eds). XIIIème Colloque International sur la Biologie des Mauvaises Herbes, Dijon, 8-10 septembre 2009, AFPP, Dijon, 195-205.

- Commission Européenne, 2013. Règlement (UE) no 56/2013 de la Commission du 16 janvier 2013 modifiant les annexes I et IV du règlement (CE) no 999/2001 du Parlement européen et du Conseil fixant les règles pour la prévention, le contrôle et l'éradication de certaines encéphalopathies spongiformes transmissibles.
- Constantin J., Mary B., Laurent F., Aubrion G., Fontaine A., Kerveillant P., Beaudoin N., 2010. Effects of catch crops, no till and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching and balance in three long-term experiments. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 135, 4, 268-278.
- Dalgaard T., Hutchings N.J., Porter J.R., 2003. Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 100, 1, 39-51.
- David C., Wezel A., Bellon S., Doré T., Malézieux E., 2011. Agroécologie. Les Mots de l'agronomie. Consultable : <http://mots-agronomie.inra.fr/mots-agronomie.fr/index.php/Agro%C3%A9cologie> [Consulté le 13 janvier 2013].
- Debaeke P. van Oosterom E.J., Justes E., Champolivier L., Merrien A., Aguirrezabal L.A.N., González-Dugo V., Massignam A.M., Montemurro F., 2012. A species-specific critical nitrogen dilution curve for sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Field Crops Res.*, 136, 76-84.
- Dougherty M.C., Thevathasan N.V., Gordon A.M., Lee H., Kort J., 2009. Nitrate and *Escherichia coli* NAR analysis in tile drain effluent from a mixed tree intercrop and monocrop system. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 131, 1-2, 77-84.
- Dupraz C., Liagre F., 2008. Agroforesterie: des arbres et des cultures. Éd. France agricole, Paris, 413 p.
- Duru M., Ducrocq H., 1996. A nitrogen and phosphorus herbage nutrient index as a tool for assessing the effect of N and P supply on the dry matter yield of permanent pastures. *Nutr. Cycl. Agroecosystems*, 47, 1, 59-69.
- Le Foll S., 2012. Faire de la France le leader européen de l'agroécologie. In : Ministère de l'agriculture (Eds), Conférence nationale « Agricultures: Produisons autrement », 40. Paris. Consultable : http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Dossier_Participant-PA_cle88c1d7-6.pdf [Consulté le 14 mai 2013].
- FranceAgriMer, 2011. Variétés et rendement des céréales biologiques, récolte 2010. Consultable : <http://www.franceagrimer.fr/content/download/18021/142430/file/11%20-%20Etude%20FAM%20-%20Vari%C3%A9t%C3%A9s%20et%20rendements%20c%C3%A9r%C3%A9ales%20bio%20r%C3%A9colte%202011.pdf> [Consulté le 11 juin 2013].
- FranceAgriMer, 2012. Variétés et rendement des céréales biologiques, récolte 2011. Consultable : http://www.franceagrimer.fr/content/download/7147/41754/file/repart_var_bio062011.pdf [Consulté le 11 juin 2013].
- Francis C., Lieblein G., Breland T.A., Creamer N., Harwood R., Salomonsson L., Helenius J., Rickerl D., Salvador R., Wiedenhoeft M., Simmons S., Allen P., Altieri M., Flora C., Poincelot R., 2003. Agroecology: The Ecology of Food Systems. *J. Sustain. Agric.*, 22, 3, 99-118.
- George T., Gregory P., Wood M., Read D., Buresh R., 2002. Phosphatase activity and organic acids in the rhizosphere of potential agroforestry species and maize. *Soil Biol. Biochem.*, 34, 10, 1487-1494.
- Ghesquière J., Cadillon A., 2012. Choisir et réussir son couvert végétal pendant l'interculture en AB, cahier technique et fiches espèces. ITAB, Paris, 15 p.

- Gliessman S., 2007. Agroecology: the ecology of sustainable food systems. CRC Press, Taylor & Francis, New York, 384 p.
- Le Guern Y., Labouze E., 2005. Bilan environnemental du chauffage domestique au bois: note de synthèse
- Guillou M., Guyomard H., Huyghe C., Peyraud J.L., Vert J., Claquin P., 2013. Le projet agro-écologique : Vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l'environnement : Propositions pour le Ministre. Consultable : http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Agroecologie_-_Rapport_double_performance_pour_le_MAAF_-_note_principale_et_annexes_-_VF_cle899e18.pdf [Consulté le 18 juin 2013].
- Halaj J., Wise D.H., 2001. Terrestrial Trophic Cascades: How Much Do They Trickle? *Am. Nat.*, 157, 3, 262-281.
- Holland J.M., Oaten H., Southway S., Moreby S., 2008. The effectiveness of field margin enhancement for cereal aphid control by different natural enemy guilds. *Biol. Control*, 47, 1, 71-76.
- Justes E., Beaudoin N., Bertuzzi P., Charles R., Constantin J., Dürr C., Hermon C., Joannon A., Le Bas C., Mary B., Mignolet C., Montfort F., Ruiz L., Sarthou J.P., Souchère V., Tournebize J., Savini I., Réchauchère O., 2012. Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires : conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques. INRA, France, 415 p.
- Justes E., Jeuffroy M.-H., Mary B., 1997. Wheat, Barley, and Durum Wheat. In : Springer (Eds), *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, 73-91. Berlin ; New York.
- Kumar V. *et al*, 2013. Effect of different tillage and seeding methods on energy use efficiency and productivity of wheat in the Indo-Gangetic Plains. *Field Crops Res.*, 142, 1-8.
- Labreuche J., 2011. Cultures intermédiaires: impacts et conduite. Arvalis, Institut du végétal, Paris, 236 p.
- Leclerc B., 2012. Utilisation des engrais et amendements organiques en AB : rappels réglementaires (Dossier - Matières organiques). *Alter Agri*, 115, 11-13.
- Letourneau D.K., Jedlicka J.A., Bothwell S.G., Moreno C.R., 2009. Effects of Natural Enemy Biodiversity on the Suppression of Arthropod Herbivores in Terrestrial Ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 40, 1, 573-592.
- Liagre F., Santi F., Vert J., 2012. L'agroforesterie en France: intérêts et enjeux. *Analyse*, 37, 1-4.
- Matson P.A., Parton W.J., Power A.G., Swift M.J., 1997. Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *Science*, 277, 5325, 504-509.
- Médiène S., Valantin-Morison M., Sarthou J.P., de Tourdonnet S., Gosme M., Bertrand M., Roger-Estrade J., Aubertot J.N., Rusch A., Motisi M., Pelosi C., Doré T., 2011. Agroecosystem management and biotic interactions: a review. *Agron. Sustain. Dev.*, 31, 3, 491-514.
- Minelli S., 2012. Propositions de suivis de la biodiversité et d'aménagements agro-écologiques de parcelles agricole, dans le cadre de la plateforme expérimentale dédiée aux « techniques alternatives et biologiques » en plaine agricole. Mémoire de Licence professionnelle. Institut universitaire et technologique de Clermont-Ferrand, Clermont-Ferrand. 25 p. + annexes.
- Minette S., 2011. Caractéristiques des principales cultures intermédiaires.
- Mure J.P., 2005. La symbiose mycorhizienne : une association bénéfique entre plantes cultivées et champignons du sol. *Alter Agri*, 69, 25-28.
- Ney B., Doré T., Sagan M., 1997. Grain Legume. In : Springer (Eds), *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, 107-117. Berlin ; New York.

- Peigné J., Cannavaciolo M., Gautronneau, Y., Aveline A., Giteau J.L., Cluzeau D., 2009. Earthworm populations under different tillage systems in organic farming. *Soil Tillage Res.*, 104, 2, 207-214.
- Peigné J., Dupont, A., Etienne C., Coquil X., Gouraud J.P., Quirin T., 2012. Travail sans labour en grandes cultures bio: une technique intéressante mais risquée. *Alter Agri*, 116, 11-14.
- Pelletier A., 2008. Analyse énergétique des systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage en Région Midi-Pyrénées. Mémoire d'ingénieur. Ecole d'ingénieurs de Purpan, Toulouse, 151 p. + annexes.
- Plénet D., Cruz T., 1997. Maize and Sorghum. In : Springer (Eds), *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, 93-106. Berlin ; New York.
- Pollard K.A., Holland J.M., 2006. Arthropods within the woody element of hedgerows and their distribution pattern. *Agric. For. Entomol.*, 8, 3, 203-211.
- Préfecture du Gers, 2009. 4ème programme d'action mis en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole. Consultable : http://www.gers.equipement-agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Arrete_Nitrates_2009-275-1_cle1c4773.pdf [Consulté le 14 mai 2013].
- Prieur L., 2013. Synthèse des essais fertilisation organique de printemps sur blé biologique – Période 2008 à 2012.
- Prieur L., Justes E., 2006. Disponibilité en azote issue de l'effet du précédent légumineuse, de culture intermédiaire et d'engrais organique - Conséquences sur le rendement et la teneur en protéines du blé tendre d'hiver. *Alter Agri*, 80, 13-17.
- Rameau J.-C., 1994. Flore forestière française: guide écologique illustré. Institut pour le développement forestier; Ministère de l'agriculture et de la forêt, Direction de l'espace rural et de la forêt; Ecole nationale du génie rural, des eaux et des forêts, Paris, 1642 p.
- Ribelles D., 2010. Dossier sectoriel 2010: La filière bois en Midi-Pyrénées.
- Richardson A.E., Barea J.-M., McNeill A.M., Prigent-Combaret C., 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant Soil*, 321, 305-339.
- Rick T.L., Jones C.A., Engel R.E., Miller P.R., 2011. Green manure and phosphate rock effects on phosphorus availability in a northern Great Plains dryland organic cropping system. *Org. Agric.*, 1, 2, 81-90.
- Rusch A., Valantin-Morison M., Sarthou J.-P., Roger-Estrade J., 2010. Biological Control of Insect Pests in Agroecosystems: Effects of Crop Management, Farming Systems, and Seminatural Habitats at the Landscape Scale: A Review. In : Elsevier Academic Press Inc (Eds), *Advances in Agronomy*, Vol 109, 219-259. San Diego.
- De Schutter O., 2012. Agroécologie et droit à l'alimentation. Conseil des droits de l'homme de l'ONU, Genève, Consultable : <http://www.srfood.org/index.php/fr/component/content/article/1174-report-agroecology-and-the-right-to-food> [Consulté le 13 mai 2013].
- Schwarz J., 2013. Considerations of Energy Input of Herbicides and Soil Cultivation. *Gesunde Pflanz.*, 65, 1, 33-37.
- Stavi I., Lal R., 2013. Agriculture and greenhouse gases, a common tragedy. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 33, 2, 275-289.
- Thorup-Kristensen K., Dresboll D.B., 2010. Incorporation time of nitrogen catch crops influences the N effect for the succeeding crop. *Soil Use Manag.*, 26, 1, 27-36.
- De Tourdonnet S., Le Gall P.Y., Dugué P., Barbier J.M., 2012. Séminaire agroécologie Montpellier, septembre 2012 : Innovation agroécologique in agroecologie/agroecology. Consultable : <http://vimeo.com/54001754> [Consulté le 13 janvier 2013].

- Tscharntke T., Bommarco R., Clough Y., Crist T.O., Kleijn D., Rand T.A., Tylianakis J.M., van Nouhuys S., Vidal S., 2007. Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biol. Control*, 43, 3, 294-309.
- Védie H., 2005. Les engrais verts en maraîchage biologique. Consultable : http://www.itab.asso.fr/downloads/Fiches-techniques_maraichage/ENGRAIS%20VERTS.pdf [Consulté le 16 mai 2013].
- Wezel A. Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D. David C., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 29, 4, 503-515.
- World Agroforestry Centre, 2013. Agroforestry and our role. World Agroforestry Centre. Consultable : http://worldagroforestry.org/about_us/our_role_in_agroforestry [Consulté le 30 juillet 2013].
- Young C., 2010. Document d'orientation 2010-2020. INRA. Consultable : <http://institut.inra.fr/Strategies/Inra/Toutes-les-actualites/Document-d-orientation-2010-2020> [Consulté le 14 mai 2013].
- Zhang W., Ricketts T.H., Kremen C., Carney K., Swinton S.M., 2007. Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecol. Econ.*, 64, 2, 253-260.
- Ziadi N., Bélanger G., Cambouris A.N., Tremblay N., Nolin M.C., Claessens A., 2008. Relationship between phosphorus and nitrogen concentrations in spring wheat. *Agron. J.*, 100, 1, 80-86.

Annexes :

Annexe 1 : Liste des experts rencontrés ou interrogés

Annexe 2 : Présentation des formules d'INN et INP utilisées

Annexe 3 : Protocole de description des habitats, utilisé pour la cartographie des habitats semi-naturels

Annexe 4 : Calcul des marges brute et semi-nette : Exemple de la ZR1 en 2012, parcelle de vallée cultivée en blé avec la variété Astaro.

Annexe 5 : Relations entre rendements, azote minéral du sol et INN

Annexe 6 : Séquences d'arbres plantées dans les haies de la Hourre

Annexe 7 : Tableau de synthèse du diagnostic agronomique par parcelle

Annexe 8 : Liste d'arbres étudiés pour leur potentiel de réservoir biologique

Annexe 9 : Liste de plantes intéressante pour les bandes fleuries

Annexe 10 : Présentation de différentes méthodes d'observation de l'état structural des sols

Annexe 11 : Détail du calcul de l'impact énergétique des cultures intermédiaires en fonction de la culture principale suivante

Annexe 12 : Eléments nécessaires pour élaborer un projet de plantation d'arbres dans les parcelles à la Hourre

Annexe 1 : Liste des experts rencontrés ou interrogés

Nom et prénom	Organisme	Date	Domaine d'expertise ou fonction
Jean Roger-Estrade	AgroParisTech	25 avril 2013	Responsable du projet d'agroécologie sur l'unité expérimentale d'Epoisses
André Gavaland	INRA Toulouse	3 mai 2013	Agroforesterie
Fabien Liagre	Agroof développement	17 mai 2013	Agroforesterie
Jack de Lozzo	Agriculteur	13 mai 2013	Agriculteur utilisant l'agroécologie
Jean-François Garnier	Arvalis Institut du végétal	22 mai 2013	Essais système en agriculture biologique
Christian Dupraz	INRA Montpellier	7 juin 2013	Agroforesterie
Alain Canet	Arbre et Paysage 32	10 juin 2013	Agroforesterie
Laurie Castel	Chambre d'agriculture de la Drôme	14 juin 2013	Responsable de la plateforme « techniques alternatives et biologiques »
Serge Rostomov Alain Larribeau	Agribio Union Qualisol	17 juillet 2013	Cultures possibles au CREAB MP et commercialisation
Claire Jouany	INRA Toulouse	Echanges tout au long du stage	Dynamique du phosphore dans les sols
Hélène Tribouillois	INRA Toulouse (doctorante)	Echanges tout au long du stage	Culture intermédiaires bi-spécifiques

Annexe 2 : Présentation des formules d'INN et INP utilisées

1. Indice de nutrition azotée

Cet indicateur est largement utilisé pour évaluer le niveau d'alimentation azotée. Il consiste à comparer la teneur réelle en azote des parties aériennes à la teneur optimale en azote obtenue lorsque l'azote n'est pas limitant. Cet indice peut être calculé de la levée à la floraison de la plante. Au CREAB MP, les mesures sont réalisées au stade épi 1cm des céréales et à la floraison pour toutes les cultures. Dans cette étude, seuls les INN à la floraison ont été utilisés.

La teneur optimale en azote (N_{opt}) est calculée à partir de la quantité de biomasse produite (MS, en $t.ha^{-1}$) et suivant une formule différente en fonction de la culture :

- Sur blé : (Justes *et al.*, 1997)
 - Si la quantité de biomasse produite par hectare est supérieure à $1,55 t.ha^{-1}$ alors
$$N_{opt} = 5,35 \times MS^{-0.44}$$
 - Sinon, $N_{opt} = 4,4 \%$
- Sur légumineuses à graines : (Ney *et al.*, 1997)
 - Si la quantité de biomasse produite par hectare est supérieure à $1 t.ha^{-1}$ alors
$$N_{opt} = 5,08 \times MS^{-0.32}$$
 - Sinon, $N_{opt} = 5,08 \%$
- Sur tournesol : (Debaeke *et al.*, 2012)
 - Si la quantité de biomasse produite par hectare est supérieure à $0,75 t.ha^{-1}$ alors
$$N_{opt} = 4,53 \times MS^{-0.42}$$
 - Sinon, $N_{opt} = 5,1 \%$
- Sur sorgho : (Plénet et Cruz, 1997)
 - Si la quantité de biomasse produite par hectare est supérieure à $1 t.ha^{-1}$ alors
$$N_{opt} = 3,9 \times MS^{-0.39}$$
 - Sinon, $N_{opt} = 3,7 \%$

2. Indice de nutrition phosphatée

Comme pour l'INN, l'indice de nutrition phosphatée permet d'évaluer l'alimentation en phosphore des cultures en comparant la teneur réelle en P des parties aériennes à une teneur optimale.

Le calcul de la teneur optimale en phosphore (P_{opt}) a été établi sur graminées prairiales et sur blé tendre d'hiver en conditions légèrement limitantes en azote. Dans les deux cas, il est fonction de la teneur en azote de la plante (noté %N).

- Sur graminées prairiales : $P_{opt} = 0,15 + 0,065 \times \%N$ (Duru et Ducrocq, 1996)
- Sur blé tendre en condition légèrement limitante en azote : $P_{opt} = 1,7 + 0,092 \times \%N$ (Ziadi *et al.*, 2008)

Le calcul des INP utilisés dans cette étude est réalisé avec la formule de Duru et Ducrocq (1996), quelle que soit la culture. En effet, ce calcul donne des résultats plus cohérents que ceux de la formule de Ziadi *et al.* (2008), qui donne des indices de nutrition phosphatée largement supérieurs à 1.

Annexe 3 : Protocole de description des habitats, utilisé pour la cartographie des habitats semi-naturels

 UMR 1201 DYNAFOR		Enregistrement Qualité	Réf. : ENQ-DAQ-08 Version : 00 date : 29/05/2010 page : III sur 181
		Protocole de description d'habitats, projet BioBio	
	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom :	Emmanuel LACOSTE	Jean-Pierre SARTHOU	Laurent BURNEL
Fonction :	Stagiaire		

1. Objectifs, hypothèse de travail et descriptif succinct

Cette méthode consiste à décrire les habitats présents sur les exploitations que nous enquêtons dans le cadre du projet BioBio, mais peut être utilisée pour tout autre projet nécessitant une description des habitats dans un paysage rural à dominance agricole. On parle ici d'habitat pour décrire une portion de territoire qui est caractérisée par la présence ou l'absence d'une couverture végétale homogène et différente de celle alentour. Dans le cadre du projet BioBio nous travaillons à l'échelle de l'exploitation agricole, un habitat sera donc par exemple une parcelle cultivée, une bande enherbée, une haie, etc...

Notre objectif est de décrire tout le territoire couvert par l'exploitation en termes d'habitats, soit surfaciques, soit linéaires. Une fois ce travail accompli, nous obtiendrons un support cartographique pour choisir les habitats qui feront l'objet d'un ensemble de relevés¹.

2. Documents de référence

Ce protocole repose sur la méthode BioHAB de description des habitats, méthode qui a été simplifiée et consignée dans le document suivant :

Draft Handbook for Surveillance and Monitoring of Habitats and Vegetation, Working document for EBONE and BioBio. R.G.H Bunce, P. Roche, M.M.B. Bogers, M. Walczack, G. de Blust, I. Geijzenborffer, J. van den Borre.

3. Principe de la méthode et stratégie

La description des habitats consiste à cartographier une exploitation agricole (ou une portion de territoire délimitée) en la subdivisant en une liste d'éléments, surfaciques ou linéaires, sans laisser de « portion vide ».

Les étapes de la démarche de description des habitats :

3.1. Observation et détermination d'éléments

Tout d'abord il s'agit d'observer le terrain que l'on veut décrire et de repérer les différents éléments présents. Ces éléments peuvent correspondre soit à des espaces d'usage agricole (parcelles cultivées, prairies, bandes enherbées, bords de champs, etc...) soit à des espaces semi-naturels (friches, bois, haies, talus, berges de ruisseau, etc...). Chaque élément se voit attribuer un code qui est spécifique de toute la description que l'on en fait. Si deux éléments sont décrits de manière identique (même codes de GHC et mêmes espèces), on leur attribue le même alpha-code (voir § 4.7).

¹ Dans le cadre du projet d'insémination agroécologique de la Hourde, il n'y a pas eu de relevés réalisés au sein des habitats.

Il faut avoir à l'esprit que la limite d'un élément avec un autre correspond à un changement de couverture végétale (en dehors des espaces dépourvus de végétation). On peut ainsi différencier, par exemple, deux bandes enherbées qui sont continues dans l'espace mais dont la composition en termes d'espèces végétales est différente.

3.2. Distinction (éventuelle) entre élément linéaire et élément surfacique

On peut distinguer ou non deux types d'éléments selon les conditions dans lesquelles on se trouve : les éléments surfaciques et les éléments linéaires. **Dans le cadre du projet BioBio**, pour lequel nous avons utilisé la méthode BioHAB, nous avons distingué ces deux types d'éléments car **seuls les éléments surfaciques sont décrits de manière détaillée**. Les éléments linéaires sont seulement listés et répertoriés par le code correspondant.

La distinction entre élément surfacique et un élément linéaire repose sur les dimensions de l'élément : un élément surfacique doit mesurer plus de 5m de large et avoir une surface supérieure à 400m² ; un élément linéaire doit mesurer au moins 30m de long et avoir une largeur comprise entre 0,5 et 5m.

La méthode de description des éléments surfaciques est néanmoins applicable aux éléments linéaires.

3.3. Détermination de l'habitat général

Une fois que l'on a isolé un élément parmi le paysage que l'on veut décrire, on va le caractériser à l'aide de codes. **La première information à déterminer est l'habitat qui domine sur l'élément (GHC : General Habitat Category)**. Il existe 5 groupes de GHCs : les éléments urbains, les cultures, les espaces dépourvus de végétation, les surfaces boisées et les surfaces enherbées (voir clé). **Chaque groupe de GHCs est constitué de plusieurs sous-groupes : ce sont les codes de ces sous-groupes que l'on renseigne pour décrire l'habitat.**

On utilise pour cela une clé de détermination relativement précise qui va jusqu'à la distinction entre les différentes familles de plantes herbacées ou encore l'appréciation de la taille des arbres majoritairement présents sur une surface boisée.

Afin de choisir un GHC lorsque plusieurs habitats sont présents, on se fixe une limite à 70% : si un GHC couvre plus de 70% de la surface de l'élément, on indique uniquement son code correspondant ; si aucun GHC ne couvre au moins 70% de la surface, alors on indique les codes des deux GHC dominants.

3.4. Indications sur l'environnement

Viennent ensuite **trois champs complémentaires qui permettent de préciser certaines informations sur l'environnement dans lequel on se trouve**. Il s'agit d'indicateurs environnementaux et globaux, de site et d'utilisation :

- un champ indicateur global / environnemental qui permet de noter la présence d'éléments ponctuels (arbres, broussailles, etc...) dont on pense qu'ils peuvent avoir une influence quelconque sur l'habitat ; il permet aussi d'indiquer l'humidité et l'acidité du sol
- un champ indicateur de site qui renseigne sur les propriétés physiques du sol (type de sol, géomorphologie)
- un champ indicateur de gestion qui renseigne sur le type de pratique mise en place sur l'élément, ainsi que sur la fréquence à laquelle l'élément est soumis à une gestion humaine.

3.5. Liste complète des habitats et liste des espèces dominantes

Après avoir déterminé l'habitat général puis indiqué un certain nombre d'informations générales, **on décrit plus précisément la manière dont l'élément est occupé en listant tous les habitats qui sont présents puis les espèces majoritaires au sein de ces habitats.**

- lorsqu'on effectue la liste des habitats **on considère la couverture de ces habitats vue de dessus et non le nombre de pieds**, c'est une estimation visuelle qu'il faut traduire en termes de pourcentage de couverture

- il faut de plus se représenter la couverture par rapport à l'ensemble de l'élément

- pour chaque habitat listé, on indique les espèces dominantes selon les critères suivants : **on note chaque espèce dont la couverture atteint au moins 30%** de la surface de l'habitat dans lequel elle est incluse ; **si moins de deux espèces atteignent les 30% de couverture, on indique les deux espèces qui dominent** en ramenant la somme de leur pourcentage à 100%. **Dans tous les cas, la somme des espèces au sein d'un habitat doit atteindre les 100%.**

3.6. Code Annexe 1 et indicateur de type parcellaire

Il existe ensuite deux champs complémentaires :

- le premier afin d'indiquer un code spécial pour les habitats classés en Annexe 1 de la Directive européenne Natura 2000, c'est-à-dire les habitats dits "Natura 2000".

- le second pour donner des précisions sur le type de parcellaire agricole sur lequel on se trouve (cultivé, non cultivé, bois, pâturé, non pâturé, ouvert, fermé, etc ...).

3.7. Regroupement d'éléments sous le même alpha-code (éventuel)

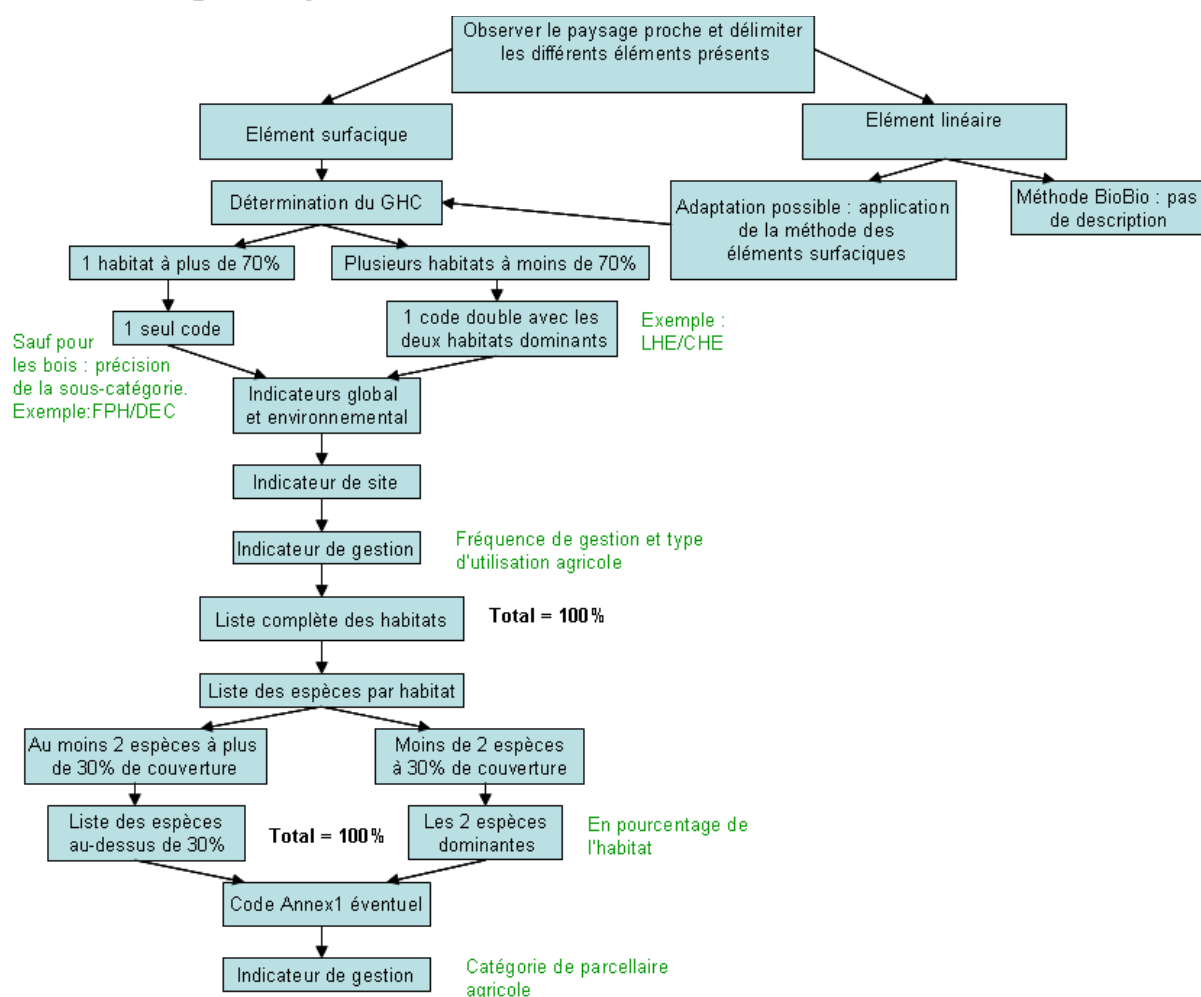
Enfin pour que deux éléments aient le même alpha-code il faut que :

- le GHC soit le même
- les indicateurs d'environnement, de site et de gestion soient les mêmes
- la liste d'habitats soit la même
- il n'y ait pas de variation de couverture d'une espèce de plus de 30%.

Ce regroupement n'est pas systématiquement nécessaire ; il est utilisé dans BioBio car nous ne faisons qu'un ensemble de relevés par type d'habitat².

² Le regroupement d'habitat n'a pas été utilisé lors de la cartographie des habitats de la Hourre, car les seuls habitats qui auraient pu être regroupés sont des cultures similaires sur des parcelles différentes. Il s'agit donc de regroupement qui auraient pu être fait cette année mais n'étaient pas faisable l'an dernier et ne le seront pas l'an prochain.

Schéma récapitulatif de la méthode :



4. Moyens nécessaires

4.1 Matériel

La description des habitats nécessite une photo aérienne de l'exploitation (ou de la portion de territoire) que l'on souhaite décrire ; elle servira de support pour y dessiner tous les habitats repérés sur le terrain (se munir d'un calque ou transparent et de marqueurs).

La description de chaque habitat est remplie sur une fiche type.

Liste du matériel nécessaire :

- photo aérienne de l'exploitation (de préférence A3 pour un zoom suffisant)
- carton à dessin (ou support quelconque)
- calque ou transparent
- marqueurs
- fiche de description de l'habitat
- clé de détermination des GHCs
- feuilles de codes pour la description des habitats

4.2 Estimation du temps de travail et du personnel

La description des habitats est un travail très aléatoire en termes de temps, puisque le nombre d'habitats par exploitation est variable et chaque habitat ne nécessite pas le même temps de description. Il faut néanmoins compter une journée de travail pour décrire une

quinzaine d'habitats en moyenne (d'après la campagne de terrain du projet BioBio). Sachant que sur 16 exploitations étudiées au sein du projet, la moyenne est de 17 habitats par exploitation.

Le travail peut se faire par équipe de deux, une personne chargée de dessiner les habitats sur la photo aérienne (en fait sur le calque ou transparent posé dessus), l'autre qui remplit le tableau de description.

5. Informations complémentaires

Cette méthode nécessite une connaissance générale des exploitations agricoles et de leur organisation spatiale, certaines connaissances en botanique (reconnaissance des espèces dominantes et évaluation de leur recouvrement) ainsi que de bonnes capacités d'analyse pour discerner les habitats sur le terrain. Il est recommandé de mettre les informations cartographiées sur calque ou transparent sous SIG.

6. Retour d'expérience envisagé

Ce travail est fastidieux et demande beaucoup de concentration, c'est pourquoi il est préférable de prévoir un itinéraire via la photo aérienne de sorte à être sûr de ne pas avoir manqué d'éléments.

Se diviser en plusieurs équipes représente un gain de temps énorme mais demande plus de préparation préalable : il faut s'accorder sur les alpha-codes des éléments linéaires à l'avance, puis rectifier l'alphabet des codes donnés aux éléments surfaciques.

Annexe 4 : Calcul des marges brute et semi-nette : Exemple de la ZR1 en 2012, parcelle de vallée cultivée en blé avec la variété Astardo.

			€/ha	Quantité utilisée (kg/ha)	Prix unitaire (€/kg)	Densité semée (grains/m²)
Charges opérationnelles	intrants	Semence (€/ha)	167,4	180	0,93	400
		Innoculum (€/ha)	0		0	
		Engrais (€/ha)	287,5	1250	0,23	
		semence EV (€/ha)	0	0	0	
	Récolte		83			
	assurance		11,13			
	Charges opérationnelles (€/ha)		549,03			
Produits	rendement sec (kg/ha)		4146,00			
	rendement aux normes (kg/ha)		4877,65			
	taux de protéines (% mat. sèche)		11,60			
	prix (€/kg)		0,32			
	produit vente (€/ha)		1560,85			
	Prime Couplée (€/ha)		0,00			
	Soutien AB (€/ha)		90,66			
	Prime Découplée (€/ha)		288,23			
	Produit (€/ha)		1939,74			
Charge de mécanisation	outil passé	tracteur associé	forfait outil (€/ha)	forfait tracteur (€/ha)	consommation carburant (l/ha)	coût carburant (€/ha)
	Déchaumeur	John Deere	26,87	5,05	9,90	7,92
	cultivateur	John Deere	9,08	7,65	10,50	8,40
	semoir combiné	John Deere	61,90	7,04	16,75	13,40
	Herse étrille	Claas	19,73	2,69	2,40	1,92
	Herse étrille	Claas	19,73	2,69	2,40	1,92
	Epandeur engrais	Claas	7,56	3,37	3,00	2,40
	Herse étrille	Claas	19,73	2,69	2,40	1,92
	Total ITK		164,59	31,17	47,35	37,88
	Total mécanisation		195,76			
	Total carburant		37,88			
Marges	Marge Brute (€/ha)		1390,71			
	Marge Brute (€/ha) hors prime		1011,82			
	Marge Brute (€/ha) avec carburant		1352,83			
	Marge semi-nette (€/ha)		1157,07			

Annexe 5 : Relations entre rendements, azote minéral du sol et INN

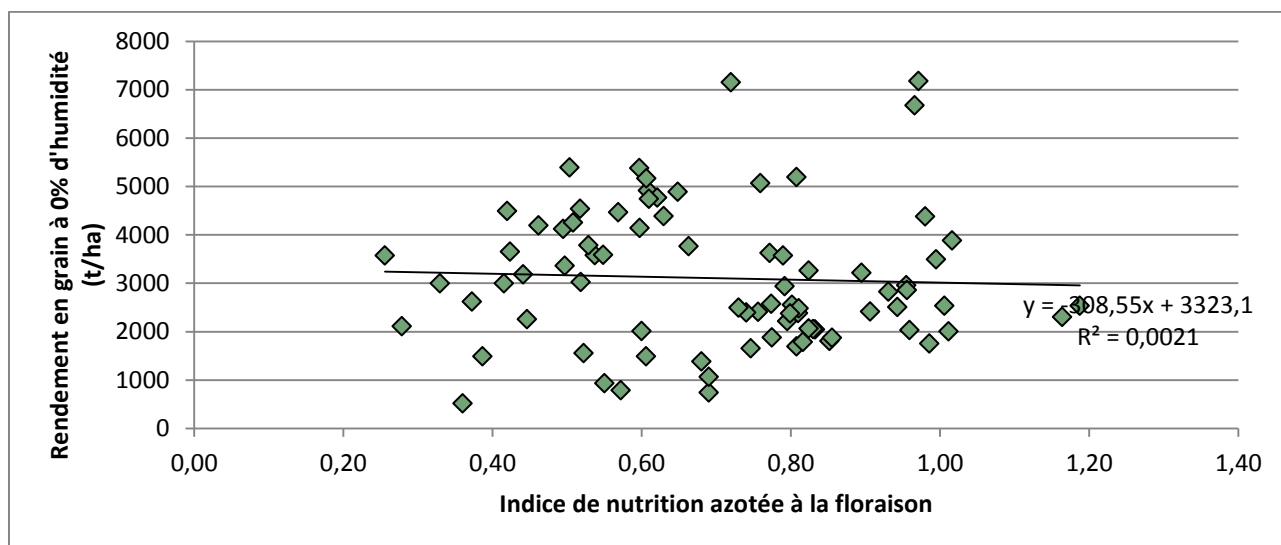


Figure 32: relation entre rendement et indice de nutrition azotée à la floraison, toutes cultures confondues

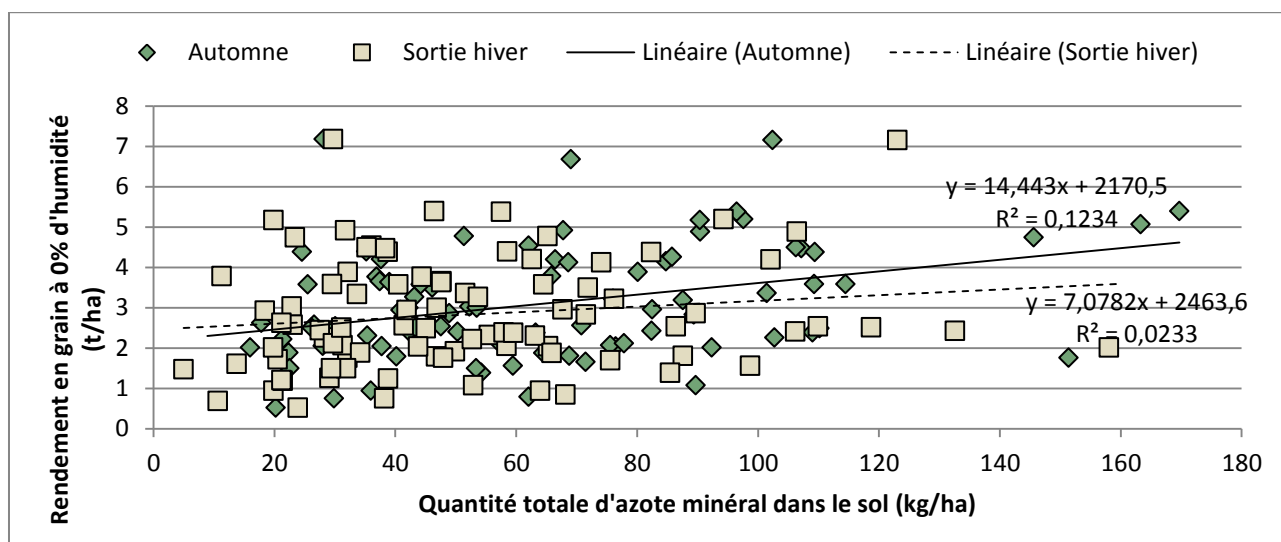


Figure 33: Relation entre quantité totale d'azote minéral dans le sol en automne (losange foncé) ou en sortie d'hiver (carré clair) et rendement en grains, toutes cultures confondues.

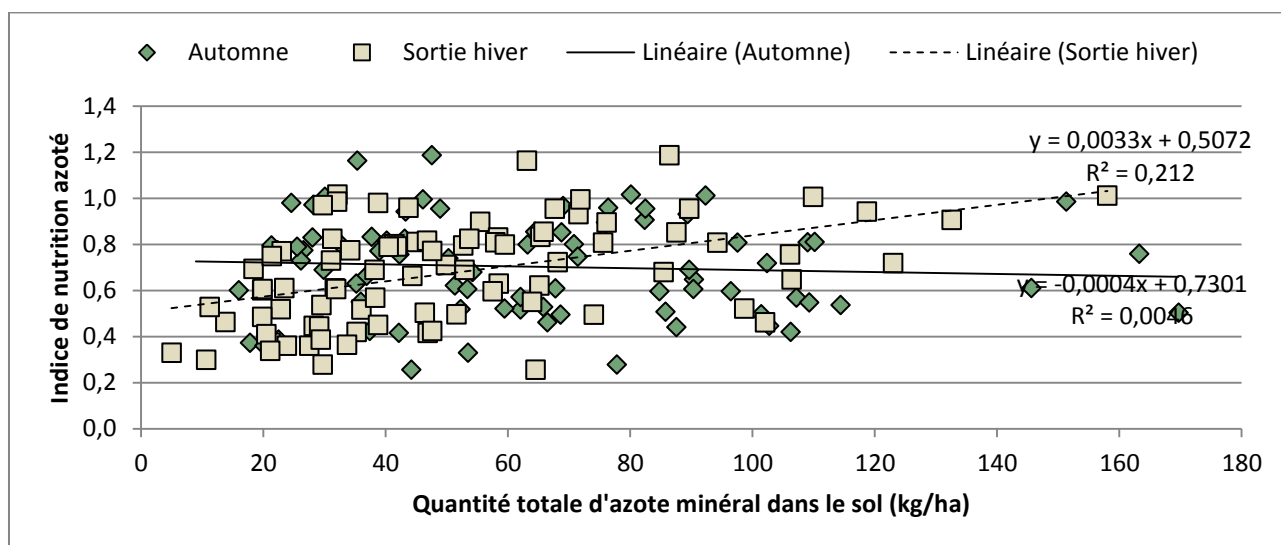


Figure 34: Relation entre quantité d'azote minéral dans le sol en automne (losange foncé) ou en sortie d'hiver (carré clair) et indice de nutrition azotée à la floraison, toutes cultures confondues.

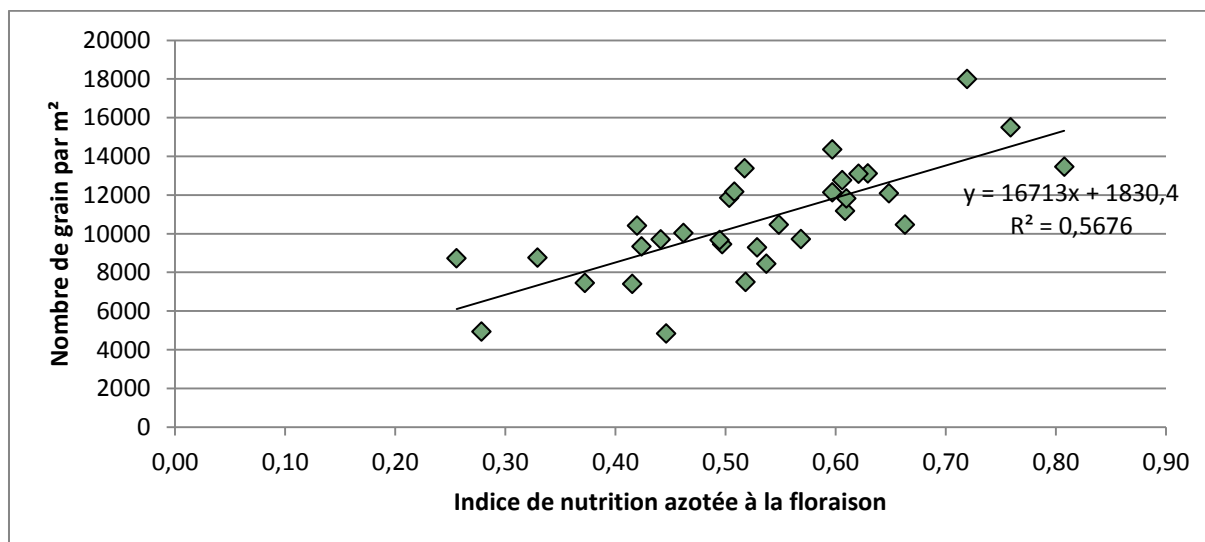


Figure 35: Relation entre indice de nutrition azotée à la floraison et nombre de grains par mètre carré, sur céréales à paille

Annexe 6 : Séquences d'arbres plantés dans les haies de la Hourre

10.329		Tom	LUDOVIC	Rte de Pessan	Haie n° 3
3 haies	M.a.J. 30/04/10	LAPEYRERE	32000	AUCH	
Haie n° 1		Haie n° 2			Haie n° 3
12 séquences entières	25 plants par séquence	12 séquences entières	25 plants par séquence	13 séquences entières	
12 plants supplémentaires	inter-plants 0,90 m	17 plants supplémentaires	inter-plants 0,90 m	14 plants supplémentaires	inter-plants 0,90 m
NERPRUN ALATERNE		Cornouiller sanguin		Chèvrefeuille d'Etrurie	
Troène des bois		ORME CHAMPETRE		ORME CHAMPETRE	
NEFLIER	COGNASSIER	Troène des bois		Troène des bois	
Cornouiller sanguin		AUBEPINE MONOGYNE		PRUNIER DOMESTIQUE	
POIRIER FRANC		Camerisier à balai		Viome lantane	
Viome lantane		Viome lantane		FRENE OXYPHYLLLE	
NERPRUN ALATERNE		FRENE OXYPHYLLLE		Eglantier	
Troène des bois		Viome lantane		PRUNIER DOMESTIQUE	
PRUNIER DOMESTIQUE		PRUNIER DOMESTIQUE		AUBEPINE MONOGYNE	
Cornouiller sanguin		Cornouiller sanguin		Viome lantane	
Fusain d'Europe		Troène des bois		CERISIER STE LUCIE	
ERABLE CHAMPETRE		ORME CHAMPETRE		Troène des bois	
Prunellier		Camerisier à balai		Cornouiller sanguin	
PRUNIER DOMESTIQUE		SUREAU NOIR		ORME CHAMPETRE	
AUBEPINE MONOGYNE		Eglantier		Viome lantane	
Viome lantane		PRUNIER MYROBOLAN		FIGUIER	
FRENE OXYPHYLLLE		Cornouiller sanguin		Troène des bois	
Eglantier		ERABLE CHAMPETRE		Cornouiller sanguin	
Nerprun purgatif		Troène des bois		CHENE PUBESCENT	
Troène des bois		AUBEPINE MONOGYNE		Prunellier	
Camerisier à balai		Camerisier à balai		Camerisier à balai	
CHENE PUBESCENT		CHENE PUBESCENT		POIRIER FRANC	
Troène des bois		Troène des bois		Troène des bois	
NERPRUN ALATERNE		NEFLIER		AUBEPINE MONOGYNE	
Chèvrefeuille d'Etrurie		Cornouiller sanguin		Cornouiller sanguin	

Annexe 7 : Tableau de synthèse du diagnostic agronomique par parcelle

Parcelle	LH7	LH8	LH6A1		LH6A2	LH4
ZR	1	8	5	7	6	9
Productivité	bonne : 4,2t/ha en blé et 2,6t/ha en soja	moyenne	bonne	moyenne	légèrement supérieure à la moyenne	variable
Enracinement et réserve utile	90cm ; 180mm	120cm ; 163mm	90cm ; 140mm	90cm ; 140mm	60 à 90cm ; 98 à 141 mm	90cm
MO et bilan C (ré-analyse en cours)	2,5 à 3%. évolution peu nette	1,7%; en légère hausse	1,5%; en légère hausse à confirmer	3%; en légère baisse à confirmer	1,8%, en hausse	en hausse
Azote Organique	élevé, en baisse	moyen, stable	correct, en baisse	élevé, en baisse	moyen à faible, en baisse	correct, en hausse
INN	augmente sur blé, diminue en soja	faible sur blé, diminue sur soja	correct, en hausse sur féverole	correct, en hausse sur féverole	faible sur blé, correct sur les autres cultures	peu de mesures, semble satisfaisant
Phosphore	P Olsen et INN corrects, baisse du P absorbé sur soja	P Olsen correct mais en baisse. P absorbé sur soja diminue	P Olsen faible, en baisse.	P Olsen faible, en baisse.	P Olsen correct, en baisse. INP augmente	P Olsen faible ; INP et P absorbé augmentent
Adventices	flore estivale	flore estivale, chardon et rumex	moutarde, gaillet, folle avoine	moutarde, gaillet, folle avoine	moutarde, gaillet, chardon	gros problème de graminées (vulpin, pâturin, ray-grass)
Principaux facteurs limitants et objectifs	attention au sol nu et aux adventices d'été	attention au sol nu et adventice d'été. MO et INN du blé à améliorer	améliorer la MO et redécouper la parcelle	redécouper la parcelle	MO et azote	adventices

Parcelle	LH6B			LH1		
ZR	2	3	4	10	11	12
Productivité	bonne	bonne	faible	faible	moyenne	bonne
Enracinement et réserve utile	120 cm; 136mm	120cm; 184mm	90cm; 136mm	60 cm; 86mm	120cm; 179mm	120cm; 189mm
MO et bilan C (ré-analyse en cours)	2,3%; Evolution peu nette	2,4%; Evolution peu nette	1,9; en hausse	1,1%; hausse ou stable	2,3%; en baisse	1,7%; stable
Azote Organique	moyen à élevé, en baisse	élevée, en baisse	moyen à élevé, en baisse	très faible ; en baisse	moyen à faible ; en baisse	moyen à faible ; en baisse
INN	bon	satisfaisant	satisfaisant	faible	faible sur céréales	faible sur céréales
Phosphore	P Olsen faible, en baisse	P Olsen faible, en baisse	P Olsen faible, en baisse	P Olsen faible, en baisse ; INP augmente	P Olsen faible, en baisse ; INP augmente	P Olsen faible, en baisse ; INP augmente
Adventices	moutarde, chardon	moutarde, chardon	moutarde, chardon	pas de problème	folle avoine, chardon, moutarde	folle avoine, chardon, moutarde
Conclusion : principaux facteurs limitants et objectifs	MO	MO	MO ; profondeur	MO, phosphore, azote	MO, phosphore, azote	MO, phosphore, azote

Annexe 8 : Liste d'arbres étudiés pour leur potentiel de réservoir biologique

Seules les espèces étudiées par le CTIFL ou retenues par S. Minelli ou déjà plantées à la Hourre (Haies Arbres et Paysage 32) et adaptés aux conditions pédoclimatiques locales sont présentées ici.

Les sources utilisées pour la construction des tableaux sont les suivantes :

- « Les haies composites, réservoir d'auxiliaires » (Baudry *et al*, 2000)
- « Proposition de suivi de la biodiversité et d'aménagement agro-écologiques de parcelles agricoles », tableau annexe III (Minelli, 2012)
- « Flore forestière française » (Rameau, 1994)
- Tela Botanica (en complément de la flore forestière française quand l'espèce n'était pas décrite)

Tableau 13: Espèces arborées retenues car intéressantes pour les régulations biologiques

Nom Latin Nom Français	Utilisation (hauteur en mètre)	Mois de floraison	Intérêt particulier	Entomofaune attirée	Note d'abondance et de diversité	Limite
<i>Acer campestre</i> Erable champêtre	Haut jet intermédiaire (12-15m)	Avril - Mai		Divers prédateurs et quelques phytophages (pucerons, psylle)	D : 2 A : 2	
<i>Alnus glutinosa</i> Aulne glutineux	Haut jet intermédiaire (20-25m)	Mars - Avril	Site d'hivernation (feuillage marcescent)	Prédateurs acariphages et aphidiphages	D : 1 à 3 A : 1 à 3	
<i>Buxus sempervirens</i> Buis	Bourrage bas (1-5m)	Février - Avril	Feuillage sempervirent et floraison précoce	Prédateurs (acariens prédateurs, araignées), parasitoïdes et pollinisateurs (hyménoptères)	D : 4 A : 4	Croissance très lente
<i>Carpinus betulus</i> Charme	Haut jet (10- 25m)	Avril - Mai	Site d'hivernation (feuillage marcescent)	Entomofaune très variée, nombreux prédateurs (notamment les araignées)	D : 4 A : 4	
<i>Celtis australis</i> Micocoulier	Haut jet (5- 25m)	Avril		Prédateurs et parasitoïdes	D : 2 A : 2	Croissance lente
<i>Cercis siliquastrum</i> Arbre de Judée	Bourrage haut (3-6m)	Mars - Juin		Prédateurs et parasitoïdes	D : 2 A : 2 à 3	Faune peu diversifiée

Nom Latin Nom Français	Utilisation (hauteur en mètre)	Mois de floraison	Intérêt particulier	Entomofaune attirée	Note d'abondance et de diversité	Limite
<i>Chimonanthus praecox</i> Chimonante précoce	Bourrage bas (3-6m)	Novembre - Mars	Floraison précoce, alimentation hivernale	Espèce non attractive	D : 1 A : 1	Espèce exotique non attractive
<i>Cornus mas</i> Cornouiller mâle	Bourrage bas (2-6m)	Mars - Avril	Floraison précoce	Acariens prédateurs	D : 2 A : 2	Croissance très lente
<i>Cornus sanguinea</i> Cornouiller sanguin	Bourrage bas (2-5m)	Mai - Juillet		Prédateurs divers et parasitoïdes	D : 2 à 3 A : 2 à 3	
<i>Corylus avellana</i> Noisetier	Bourrage haut (2-4m)	Janvier - Mars	Floraison précoce, entomofaune diverse et abondante	Prédateurs variés (aphidiphages et acariphages)	D : 4 A : 4	
<i>Cytisophyllum sessilifolium</i> Cytise à feuilles sessiles	Bourrage bas (0,5-2m)	Avril - Juillet	Faune très diversifiée	Prédateurs et parasitoïdes		
<i>Fraxinus angustifolia</i> Frêne oxyphylle	Haut jet (20- 25m)	Mars - Mai		Prédateurs divers	D : 2 A : 2	
<i>Fraxinus excelsior</i> Frêne commun	Haut jet (20- 30m)	Avril		Prédateurs divers	D : 2 A : 2	
<i>Hedera helix</i> Lierre	Grimpant	Septembre - Octobre	Alimentation en fin de saison (floraison tardive) et lieu d'hivernation	Entomofaune variée	D : 3 à 4 A : 4	Dangereux pour les arbres s'il devient envahissant

Nom Latin Nom Français	Utilisation (hauteur en mètre)	Mois de floraison	Intérêt particulier	Entomofaune attirée	Note d'abondance et de diversité	Limite
<i>Juglans regia</i> Noyer commun	Haut jet (10-25m)	Avril - Mai	Bois d'œuvre de très grande qualité	Prédateurs (acariphages et aphidiphages)	D : 1 A : 1	
<i>Laurus nobilis</i> Laurier sauce	Bourrage haut (2-10m)	Mars - Mai		Prédateurs et parasitoïdes	D : 2 A : 2	
<i>Lonicera xylosteum</i> Camérisier à balais	Bourrage bas (1-2m)	Mai - Juin		Acariens prédateurs, pollinisateurs nocturnes		
<i>Ostrya carpinifolia</i> Charme houblon	Haut jet intermédiaire (3-15m)	Avril - Mai		Prédateurs et parasitoïdes	D : 2 A : 2	Héberge des charançons phyllophages
<i>Paliurus spinachristi</i> Paliure	Bourrage bas (2-4m)	Juin - Septembre		Auxiliaires prédateurs	D : 1 A : 2	
<i>Prunus avium</i> Merisier	Haut jet (15-25m)	Avril - Mai	Bois apprécié	Faune aphidiphage	D : 1 A : 2	Drageonne, risque de devenir envahissant
<i>Prunus cerasifera</i> Prunier myrobolan	Bourrage haut (5-8m)	Février - Mars	Floraison précoce			
<i>Prunus spinosa</i> Prunelier	Bourrage bas (1-4m)	Avril	Attire un puceron spécifique qui attire les aphidiphages	Entomofaune aphidiphage (prédateurs et parasitoïdes)		
<i>Quercus robur</i> Chêne pédonculé	Haut jet (25-35m)	Avril - Mai	Intéressant à long terme	Faune auxiliaire très variée	D : 3 A : 3	

Nom Latin Nom Français	Utilisation (hauteur en mètre)	Mois de floraison	Intérêt particulier	Entomofaune attirée	Note d'abondance et de diversité	Limite
<i>Quescus pubescent</i> Chêne pubescent	Haut jet (10- 25m)	Avril	Intéressant à long terme	Faune auxiliaire très variée	D : 3 A : 3	
<i>Rhamnus alaternus</i> Nerprun alaterne	Bourrage haut (1-5m)	Mars - Avril	Floraison précoce, bon abris (feuillage persistant)	Prédateurs (notamment les prédateurs des psylles)	D : 3 A : 3	
<i>Rosa canina</i> Eglantier	Bourrage bas (1-5m)	Mai - Juillet	Très apprécié pour ses fleurs (pollen et nectar)	Insectes pollinisateurs, notamment les syrphes (aphidiphages)		
<i>Rubus spp.</i> Ronces	Grimpant	Mai - Août	Floraison tardive	Faune très diversifiée		
<i>Salix alba</i> Saule blanc	Haut jet intermédiaire (5-25m)	Avril - Mai	Floraison précoce (parfois dès février)	Prédateurs variés et abondants	D : 3 A : 3	Craint les sols sec, à placer en bord de fossé
<i>Sambucus nigra</i> Sureau noir	Bourrage haut (2-10m)	Juin - Juillet		Prédateurs variés : aphidiphage, acariens et araignées et faune diverse	D : 3 A : 2 à 4	
<i>Tilia platyphyllos</i> Tilleul à grandes feuilles	Haut jet (20- 35m)	Juin - Juillet	Faune auxiliaire très variée et abondante sur arbre adulte, beaucoup moins sur les jeunes arbres	Auxiliaires variés, acariphages et aphidiphages	D : 1 (jeune) à 4 (adulte) A : 1 à 4	Croissance lente, sensible à la concurrence de la haie
<i>Viburnum lantana</i> Viorne lantane	Bourrage bas (1-3m)	Mai - Juin		Parasitoïdes et prédateurs (surtout les acariens prédateurs)	D : 2 A : 2	

<i>Viburnum opulus</i> Viorne obier	Bourrage haut (2-4m)	Mai - Juin	Très bon arbuste de bourrage	Prédateurs et parasitoïdes, surtout aphidiphages	D : 3 A : 3	Croissance plus lente et auxiliaires moins nombreux en sols secs
<i>Viburnum tinus</i> Viorne-tin	Bourrage bas (1-3m)	Février - Juin	Floraison hivernale, feuillage persistant	Entomofaune très diversifiée et abondante	D : 4 A : 4	

Tableau 14: Espèces non retenues car moins intéressantes (soit parce que la bibliographie utilisée ne donne pas d'information sur ces essences, soit parce qu'elles attirent peu d'auxiliaires, soit parce qu'elles attirent un ravageur gênant)

Nom Latin Nom Français	Utilisation (hauteur en mètre)	Mois de floraison	Note d'abondance et de diversité	Entomofaune attirée	Limite
<i>Acer platanoides</i> Erable plane	Haut jet (20-30m)	Avril - Mai		Pollinisateurs	Entomofaune faible
<i>Acer pseudoplatanus</i> Erable sycomore	Haut jet (20-30m)	Mai	D : 1 A : 1	Pollinisateurs	Entomofaune faible
<i>Amelanchier ovalis</i> Amélanchier	Bourrage bas (2-3m)	Avril - Mai			Manque d'informations
<i>Coronilla emerus</i> Coronille	Bourrage bas (1-2m)	Avril - Mai	D : 1 à 2 A : 1 à 2		Pauvre en auxiliaires, enracinement faible dans le Sud-Ouest
<i>Crataegus monogyna</i> Aubépine monogyne	Bourrage haut (4-10m)	Mai			Manque d'informations
<i>Euonymus europaeus</i> Fusain d'Europe	Bourrage bas (2-6m)	Avril - Mai	D : 2 A : 2	Prédateurs et parasitoïdes variés	Hôte d' <i>Aphis fabae</i> (puceron noir de la fève)

<i>Ficus carica</i> Figuier	Bourrage bas (2-5m)	Juin - Septembre			Manque d'informations
<i>Gleditsia triacanthos</i> Févier	Haut jet (10-15m)	Mai - Juin	D : 1 A : 1	Parasites des cécidomies	Espèce exotique sans entomofaune propre
<i>Ligustrum vulgare</i> Troène commun	Bourrage bas (2-3m)	Mai - Juin		Pollinisateurs	Faune auxiliaire pauvre
<i>Lonicera etrusca</i> Chèvrefeuille d'Etrurie	Bourrage bas (1-3m)	Mai - Juillet			Manque d'informations
<i>Prunus domestica</i> Prunier domestique					Manque d'informations
<i>Prunus mahaleb</i> Cerisier sainte Lucie	Haut jet intermédiaire (4-12m)	Mars - Mai			Manque d'informations
<i>Pyrus pyraster</i> Poirier commun	Haut jet intermédiaire (8-20m)	Avril - Mai			Manque d'informations
<i>Rhamnus catharticus</i> Nerprun purgatif	Bourrage haut (2-5m)	Mai - Juin			Manque d'informations
<i>Robinia pseudacacia</i> Robinier faux acacia	Haut-jet (10-25m)	Mai - Juillet	D : 2 A : 2	Entomofaune aphidiphage et abeilles	Hôte d'Aphis fabae
<i>Sorbus domestica</i> Cormier	Haut jet (5-20m)	Avril - Juin		Très apprécié pour ses fleurs (pollen et nectar)	Manque d'informations
<i>Ulmus minor</i> Orme champêtre	Haut jet (30-35m)	Mars - Avril	D : 2 A : 3		Hôte d'une chrysomèle, craint la graphiose

Annexe 9 : Liste de plantes intéressante pour les bandes fleuries

Tableau 15: composition spécifique des bandes fleuries (Nentwig, 1998 dans Barbosa, 1998)

Nom Français	Nom latin	Densité de semis (g/ha)	Proportion (%)
Achillée millefeuille	<i>Achillea millefolium</i>	40	0,2
Nielle des blés	<i>Agrostemma githago</i>	500	2,5
Anthémis des teinturiers	<i>Anthemis tinctoria</i>	10	0,05
Grande bardane	<i>Arctium lappa</i>	20	0,1
Bourrache	<i>Borago officinalis</i>	200	1
Bleuet	<i>Centaurea cyanus</i>	500	2,5
Centaurée jacée	<i>Centaurea jacea</i>	200	1
Grande marguerite	<i>Chrysanthemum leucanthemum</i>	80	0,4
Chicorée sauvage	<i>Cichorium intybus</i>	120	0,6
Carotte	<i>Daucus carota</i>	150	0,75
Cardère sauvage	<i>Dipsacus fullonum</i>	5	0,03
Vipérine vulgaire	<i>Echium vulgare</i>	300	1,5
Sarrasin commun	<i>Fagopyrum esculentum</i>	15730	78,65
Fenouil	<i>Foeniculum vulgare</i>	200	1
Millepertuis perforé	<i>Hypericum perforatum</i>	60	0,3
Legousie miroir de Vénuse	<i>Legousia speculum veneris</i>	30	0,15
Grande mauve	<i>Malva sylvestris</i>	80	0,4
Minette (luzerne lupuline)	<i>Medicago lupulina</i>	120	0,6
Mélilot blanc	<i>Melilotus albus</i>	30	0,15
Mélilot officinal	<i>Melilotus officinalis</i>	20	0,1
Onagre bisannuelle	<i>Oenothera biennis</i>	30	0,15
Sainfoin cultivé	<i>Onobrychis viciifolia</i>	1000	5
Marjolaine sauvage	<i>Origanum vulgare</i>	50	0,25
Coquelicot	<i>Papaver rhoeras</i>	150	0,75
Panais cultivé	<i>Pastinaca sativa</i>	200	1
Compagnon blanc	<i>Silene alba</i>	80	0,4
Moutarde blanche	<i>Sinapis alba</i>	40	0,2
Tanaisie vulgaire	<i>Tanacetum vulgare</i>	5	0,03
Molène faux bouillon blanc	<i>Verbascum densiflorum</i>	50	0,25

Tableau 16: Autres espèces potentiellement intéressantes, d'après Minelli (2012)

Nom français	Nom latin
Ammi élevé	<i>Ammi majus</i>
Aneth	<i>Anethum graveolens</i>
Caméline cultivée	<i>Camelia sativa</i>
Cumin des près	<i>Carum carvi</i>
Chrysanthème couronné	<i>Chrysanthemum cornarium</i>
Chrysanthème des moissons	<i>Chrysanthemum segetum</i>
Pied d'alouette consoude	<i>Consolida regalis</i>
Coriandre	<i>Coriandrum sativum</i>
Cumin	<i>Cuminum cyminum</i>
Hysope	<i>Hyssopus officinalis</i>
Marguerite	<i>Leucanthemum vulgare</i>
Lin cultivé	<i>Linum isitatisissimus</i>
Ray gras italien	<i>Lolium perenne</i>
Lotier corniculé	<i>Lotus corniculatus</i>
Mauve musquée	<i>Malva moschata</i>
Matricaire inodore	<i>Matricaria maritima inodora</i>
Luzerne cultivée	<i>Medicago sativa</i>
Menthe verte	<i>Mentha spicata</i>
Mufler des champs	<i>Misopates orontium</i>
Nielle des champs	<i>Nigella arvensis</i>
Réséda jaune	<i>Reseda lutea</i>
Petite pimprenelle	<i>Sanguisorba minor</i>
Silène des près	<i>Silene latifolia</i>
Pissenlit	<i>Taraxacum officinale</i>
Thym	<i>Thymus vulgaris</i>
Salsifis des près	<i>Tragopogon pratensis subsp. Orientalis</i>
Trèfle violet	<i>Trifolium pratense</i>
Trèfle blanc	<i>Trifolium repens</i>
Ortie dioïque	<i>Urtica dioica</i>
Vesce commune	<i>Vicia sativa</i>

Annexe 10 : Présentation de différentes méthodes d'observation de l'état structural des sols

Sondage au pénétromètre

Le pénétromètre permet de mesurer la résistance du sol à la pénétration, ou plus précisément la pression nécessaire pour enfoncer manuellement une tige dans le sol et traverser différentes couches de sol. Cette pression est corrélée au niveau de compaction du sol. Un sondage au pénétromètre peut donc indiquer la présence d'une semelle de labour ou d'un horizon compacté.

Mesure de la densité apparente au cylindre

La densité apparente du sol augmente lorsque celui-ci est compacté, car les pores sont moins nombreux. La mesure de la densité apparente du sol, c'est-à-dire du poids de sol par unité de volume de sol sec en place permet donc de comparer l'état de compaction du sol en différents lieux du profil de sol (sous un passage de roue du tracteur ou entre les roues, au niveau d'une semelle de labour, entre les différents horizons, etc.).

La mesure de la densité apparente au cylindre consiste à prélever des volumes de sols connus à l'aide d'un cylindre. Ce sol est ensuite séché puis pesé pour en déterminer la densité apparente, souvent exprimée en g/cm^3 .

Test simplifié à la bêche

Le test bêche simplifié, testé lors du programme SolAB, consiste à extraire un volume de sol à la bêche puis à l'observer. Les observations portent essentiellement sur la tenue du bloc de terre, la proportion de terre fine et l'état interne des mottes. Le taux de cailloux et la présence de racines sont aussi observés.

Facile à prendre en main, mais essentiellement visuel et difficilement quantifiable => biais possible pour un suivi dans le temps, surtout si l'observateur change.

Le test bêche est un test simplifié inspiré de la méthode du profil cultural, mais réalisé sur un volume de sol plus petit et plus superficiel. Il est plus facile à mettre en œuvre que le profil cultural et pourra donc être répété plus souvent que celui-ci. Il a l'avantage d'être facile à prendre en main, mais comme il s'appuie essentiellement sur des méthodes visuelles, les proportions estimées ne seront pas toujours les mêmes suivant l'observateur.

Visual Soil Assesment (VSA)

Visual Soil Assessment est une méthode visuelle d'évaluation de la qualité des sols, qui s'appuie sur un ensemble de notations. Chaque indicateur est noté sur une échelle de 1 à 3 (médiocre, moyen ou bon), puis pondéré par un facteur allant de 1 à 3 suivant l'importance du paramètre évalué dans la qualité du sol. Au final, une note est obtenue qui permet de qualifier l'état du sol de médiocre, moyen ou bon. Les indicateurs utilisés renseignent sur la texture, la structure, la porosité, la couleur, le nombre et la couleur des mottes, les vers de terre, la profondeur d'enracinement, la présence de flaques et de croûte de battance et l'érosion.

Cette méthode a l'avantage d'utiliser des critères gradués et d'apporter de nombreuses informations à partir de peu d'équipements nécessaires. De plus, les indications obtenues sont bien à très bien corrélées avec les indicateurs de laboratoires plus classiques (Shepherd, 2003).

Sources :

- L'ABC du conseiller agricole : <http://www.abcdconseiller.qc.ca/default.aspx?ID=155>
- Le test bêche simplifié : <http://www.itab.asso.fr/downloads/solab/fiche-solab-beche.pdf>
- Visual Soil Assessment Field Guide
- Shepherd, T.G. 2003. Assessing soil quality using Visual Soil Assessment. In: Tools for nutrient and pollutant management: Applications to agriculture and environmental quality. (Eds L.D. Currie and J.A. Hanly). Occasional Report No. 17. Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University, Palmerston North. pp. 153–166.

Annexe 11 : Détail du calcul de l'impact énergétique des cultures intermédiaires en fonction de la culture principale suivante

		Blé	Orge	Sorgho	Tournesol	Soja
Energie indirecte (MJ/ha)	Semence CI	145	145	100	100	145
	Engrais	2514	963	1967	0	0
	Total (MJ/ha)	-2369	-818	-1867	100	145
Energie d'amortissement (MJ/ha)	Semoir combiné	160	160	160	160	160
	Déchaumeur à ailettes	96	96	96	96	96
	Epandeur à engrais	100	100	100	0	0
	Total (MJ/ha)	155	155	155	256	256
Energie directe (carburant + lubrifiant) (MJ/ha)	Semoir combiné	661	661	661	661	661
	Déchaumeur à ailettes	390	390	390	390	390
	Epandeur à engrais	119	119	119	0	0
	Total (MJ/ha)	932	932	932	1051	1051
Evolution de la consommation		-1282	269	-780	1406	1451

Annexe 12 : Eléments nécessaires pour élaborer un projet de plantation d'arbres dans les parcelles à la Hourre

Dans le rapport, les propositions faites concernent surtout les haies. L'objectif de cette annexe est de faire la synthèse des intérêts et limites de la plantation d'arbres à l'intérieur d'une ou plusieurs parcelles de la Hourre et d'identifier les questions-clés permettant de construire un tel projet de plantation. Elle s'appuie sur la lecture de bibliographie et la discussion avec plusieurs experts dans le domaine : André Gavaland (INRA Toulouse), Fabien Liagre (AGROOF), Christian Dupraz (INRA Montpellier) et Alain Canet (Arbres et Paysages 32).

1. Quel est l'objectif de la plantation :

a. *Créer un capital ?*

La plantation d'arbres dans une parcelle peut permettre de produire du bois d'œuvre, donc d'augmenter le capital de l'exploitation. C'est, d'après Christian Dupraz, le principal intérêt de l'agroforesterie (Christian Dupraz, communication personnelle, 7 juin 2013). Les arbres agroforestiers ont une croissance plus régulière que les arbres forestiers, car ils sont plantés directement à un espacement suffisant pour ne pas nécessiter d'éclaircissement (Dupraz et Liagre, 2008). Il en résulte un bois de meilleure qualité, à condition que l'entretien des arbres soit régulièrement et correctement effectué.

b. *Dégager un revenu complémentaire ?*

Les arbres peuvent aussi être plantés dans l'objectif de dégager régulièrement un revenu tout au long de leur vie par la production de fruits ou de bois. La production fruitière demande une main d'œuvre et un savoir-faire bien spécifiques qui semblent difficilement conciliables, à l'heure actuelle, avec les objectifs et les moyens présents sur le domaine de la Hourre. Par contre une production de bois énergie (bois déchiqueté en plaquette et utilisé dans les chaudières) est plus facilement envisageable.

D'après une étude réalisée en 2010 par la chambre d'industrie et de commerce de Midi Pyrénées, le chauffage collectif au bois se développe dans la région et la filière est en train de se structurer (Ribelles, 2010). D'autre part, un broyeur est présent à proximité de la Hourre, rendant possible le déchiquetage des branches en plaquettes.

Toutefois, une question importante reste ouverte sur l'intérêt de la production de bois énergie en agroforesterie. Une étude de cycle de vie conduite par l'ADEME montre que le chauffage par chaudière à plaquettes (forestière ou bocagère) produit 20 unités d'énergie utile par unité d'énergie non renouvelable consommée pour la production des plaquettes (coupe, déchiquetage, transport et combustion), contre 14 pour le bois bûche en produit 14 (Le Guern et Labouze, 2005). Cependant, il faut rester conscient que la densité d'arbres sur une parcelle agroforestière est faible, de l'ordre de 50 arbres par hectare et ne permet donc pas une production de bois aussi importante qu'une forêt.

c. *Améliorer la situation agronomique ?*

Des synergies et interactions positives peuvent exister entre arbres et cultures, de plusieurs ordres :

- Modification du micro-climat : l'arbre modifie la vitesse du vent et crée de l'ombrage, ce qui réduit la demande climatique. Cet effet est particulièrement intéressant en été sur des parcelles non irriguées, mais peut aussi être négatif en hiver en facilitant le gel et limitant le réessuyage de parcelles. Il peut aussi y avoir une concurrence pour la lumière si l'effet d'ombrage est trop important (densité d'arbres trop élevée, mauvaise orientation).
- Attraction d'auxiliaires : la présence des arbres et d'une bande non cultivée à leur pied abrite une faune diversifiée et souvent utile : pollinisateurs, prédateurs, parasitoïdes, etc. Ces

- habitats semi-naturels produisent ou hébergent de la nourriture pour les auxiliaires (nectar, pollen, proies), leur permettant de se nourrir et se reproduire y compris lorsque les ravageurs ne sont pas encore présents sur la parcelle.
- Modification des flux de nutriments et évolution de la fertilité de la parcelle : l'intégration d'arbres dans une parcelle agricole va modifier l'écosystème et son fonctionnement, y compris au niveau du sol. Seuls les impacts sur la matière organique, l'eau et l'azote, le phosphore et les mycorhizes sont abordés ici.
 - Les feuilles mortes et racines annuelles constituent une entrée non négligeable de matière organique dans le système, mais ceci n'a pas pu être quantifié pour le moment.
 - Il peut y avoir compétition ou complémentarité entre arbre et culture pour la préemption d'éléments nutritifs, notamment l'azote, et de l'eau, selon qu'ils explorent ou non les mêmes horizons. L'enracinement des arbres est généralement limité aux horizons superficiels, mais en agroforesterie, à cause de la concurrence des cultures, le système racinaire des arbres se développe plus profondément, dans des horizons non exploités par les racines des cultures. Il y a alors une complémentarité spatiale des systèmes racinaires qui permet de limiter la concurrence pour l'eau et les nutriments et de recycler l'azote lixivié trop en profondeur pour être exploité par les cultures qui sera fixé par les arbres. Cependant, s'il y a un obstacle à la descente des racines de l'arbre (horizon mollassique induré par exemple), le système racinaire de l'arbre ne pourra pas le franchir et se limitera aux horizons déjà explorés par les racines. Dans ces conditions, la concurrence pour l'eau et les nutriments est très forte, et se traduit par des pertes de rendement sur la culture.
 - Les arbres peuvent également mobiliser des éléments minéraux qui ne sont pas disponibles en l'état (notamment le phosphore dans les sols calcaires) et faire ainsi entrer cet élément dans le compartiment organique, qui pourra devenir, à long terme, disponible pour la culture.
 - Enfin, les arbres dont le système racinaire est présent tout au long de l'année et pendant plusieurs années sont le siège de nombreuses mycorhizes. Cependant, il est difficile d'évaluer l'impact de ces mycorhizes sur les cultures.

Toutefois, bien que l'impact de l'arbre sur la fertilité soit probablement réel, il n'est pas perceptible avant 15 à 20 ans d'après Fabien Liagre, tandis que d'après Christian Dupraz, les densités d'arbres utilisées en agroforesterie ne permettent pas de modifier significativement la fertilité du sol (Fabien Liagre, communication personnelle, 17 mai 2013 ; Christian Dupraz, communication personnelle, 7 juin 2013). Il convient donc de rester prudent quant aux avantages agronomiques des arbres et de ne pas oublier que des concurrences entre arbres et cultures existent.

Dans le cas de la Hourre, la présence d'horizons mollassiques, c'est-à-dire d'horizons argileux indurés, risque de limiter le développement en profondeur des racines d'arbres et donc d'augmenter la concurrence avec les cultures. Fabien Liagre craint « de faibles croissances et une forte concurrence entre arbres et cultures » (communication personnelle, 17 mai 2013). Christian Dupraz affirme que seule la réalisation d'un profil de sol en présence d'un spécialiste permettra de connaître la capacité d'enracinement des arbres, et donc d'évaluer le risque de concurrence sur les cultures (communication personnelle, 7 juin 2013). Enfin, Alain Canet estime que l'horizon mollassique n'est pas un obstacle pour les arbres, d'autant plus si ceux-ci sont conduits en trogne (communication personnelle, 10 juin 2013).

2. Où planter ?

L'enjeu est de trouver une parcelle sur laquelle les arbres vont bénéficier de conditions favorables à leur croissance et où la concurrence entre arbres et cultures sera minimale :

- a. Choisir un endroit où les arbres seront dans de bonnes conditions pour pousser : éviter les parcelles à trop faible potentiel, avoir une réserve en eau suffisante et éviter l'hydromorphie.
- b. Vérifier que la concurrence pour les ressources du sol entre arbre et culture ne sera pas trop élevée : réalisation de fosses pédologiques pour vérifier si l'arbre pourra s'enraciner dans des horizons non exploités par les racines de cultures.
- c. Limiter la concurrence pour la lumière entre arbres et cultures : une orientation nord-sud est optimale. Un espacement suffisant entre lignes d'arbres (au moins égal à deux fois leur hauteur maximale) et/ou la taille fréquente des arbres permet de limiter la concurrence pour la lumière malgré une orientation non optimale.
- d. Assurer la continuité des habitats : lignes d'arbres en continuité avec les haies ou bosquets présents. La connexion entre les alignements d'arbres et les autres habitats semi-naturels présents sur l'exploitation facilite le déplacement des auxiliaires entre ces différents habitats. La connexion des habitats améliore l'efficacité des régulations biologiques (Tscharntke *et al.*, 2007)

De plus, il faut avoir à l'esprit que la présence des arbres va avoir un impact d'une part sur l'érosion et le relief, et d'autre part sur le travail du sol et la gestion des adventices :

- Ligne d'arbres et érosion : La plantation d'arbres dans une parcelle va avoir un effet indirect sur l'érosion car la présence de bandes enherbées et d'une couverture végétale permanente au pied des arbres limite l'érosion. A moyen terme, les lignes d'arbres parallèles aux courbes de niveau ont également un effet sur le relief de la parcelle : au bout de quelques années, on observe la formation de terrasses entre les lignes d'arbres, correspondant à une érosion du sol sous les lignes d'arbres et un dépôt au-dessus de la ligne suivante. La formation de ces terrasses contribue ensuite fortement à la réduction de l'érosion puisque le terrain est moins pentu. Toutefois, il ne faut pas oublier que ces terrasses se forment par érosion du sol en haut des interlignes, pouvant aboutir à de très faibles profondeurs de sol et donc en conséquence à une réduction de la productivité sur ces zones.

- Lignes d'arbre, travail du sol et adventices : Lors du labour d'une parcelle, il y a un sillon qui reste ouvert sur une bordure et à l'inverse un billon plus haut sur l'autre bordure. Ces différences de relief sont délicates à aplanir correctement. En conséquence, les semis sont de moins bonne qualité sur ces bordures, les levées moins régulières et la production peut être affectée. Lorsqu'il y a des lignes d'arbres dans la parcelle, ces bordures sont plus nombreuses, et l'impact sur la production de l'ensemble de la parcelle diminue. En conséquence, le labour est souvent abandonné sur les parcelles agroforestières, mais ceci peut avoir un impact négatif sur la gestion des adventices.

3. Quelles espèces choisir :

Le choix des espèces doit être fait en fonction des conditions pédoclimatiques et des objectifs visés à travers ce projet agroforestier. On n'utilisera pas les mêmes essences suivant que l'on souhaite produire du bois d'œuvre ou du bois énergie. Le Centre Régional de la Propriété Française (CRPF), par sa connaissance des filières de valorisation du bois, peut aider au choix des espèces.

4. Entretien

L'entretien sera adapté aux débouchés visés. Pour la production de bois d'œuvre, il faudra veiller à élaguer toutes les branches dont le diamètre à la base dépasse 2 à 3 cm, sur toute la hauteur de la bille que l'on souhaite produire (Dupraz et Liagre, 2008). Ceci demande d'intervenir une à deux fois par an.

Dans le cas de production de bois énergie, deux modes de conduite sont possibles : la formation de trognons ou la conduite en cépée. La formation des trognons demande dans un premier temps la réalisation d'émouillage tous les ans puis par la suite une taille tous les 3 à 8 ans qui sera

valorisée en bois énergie (Alain Canet, communication personnelle, 10 juin 2013). Pour la production de bois énergie, la récolte des cépées aura lieu environ tous les 5 ans mais varie suivant la vigueur (Fabien Liagre, communication personnelle, 17 mai 2013).

5. Conclusion

Pour se lancer dans un projet de plantation, il faut bien se mettre d'accord sur l'objectif visé, les lieux de plantation et le choix des espèces. Mais avant cela, deux étapes semblent indispensables, en particulier dans le cas de la Hourre. Il faudra vérifier les possibilités d'enracinement et de croissance des arbres sur les mollasses et le risque de concurrence en réalisant des profils de sol. Etant donné le nombre d'acteurs impliqués (fondation Ludovic Lapeyrère, Lycée Auch-Beaulieu et CREAB MP), il est indispensable de bien connaître les attentes de chacun et que les différents rôles soient éclaircis : Qui finance le projet ? Qui réalise l'entretien des arbres, assure la protection de jeunes plants, entretient les bandes enherbées au pied des arbres ? Qui bénéficie du revenu ou du capital issu des arbres ?

Enfin, les décisions ne peuvent être prises qu'en ayant parfaitement connaissance des avantages et inconvénients que présentent les alignements d'arbres. Le tableau ci-dessous résume les modifications positives ou négatives prévisibles en conséquence de la plantation d'alignements d'arbres à la Hourre :

	Avantages	Inconvénients
Economie	Production de capital (bois d'œuvre) ou de revenus complémentaires (bois énergie)	Investissement de départ. Coût d'entretien des arbres. Le bilan économique dépend de la croissance des arbres. Perte économique possible sur les cultures.
Production :	Si les ressources (eau, azote) ne sont pas bien valorisées actuellement, la quantité totale de biomasse produite va augmenter.	Perte de 5% de la surface agricole. Baisse de productivité des cultures possible mais difficile à évaluer pour le moment.
Dynamique de l'eau et des nutriments	Si les arbres valorisent des horizons plus profonds que les cultures : complémentarité des ressources utilisée et recyclage de l'azote.	Si les arbres utilisent les mêmes horizons que les cultures : forte concurrence pour l'eau et l'azote, qui pénalisera la croissance des cultures et des arbres
Erosion	Limite l'érosion grâce à la bande enherbée au pied des arbres	Création de terrasse, avec des profondeurs de sol hétérogène.
Adventices		Risque d'augmentation des adventices à cause de l'abandon du labour et de développement de vivaces depuis les bandes enherbées au pied des arbres
Régulations biologiques	Hébergement d'auxiliaires et augmentation des régulations biologiques probable.	
Temps de travail		Travail supplémentaire nécessaire pour assurer le suivi des jeunes plants puis l'entretien des arbres et bandes enherbées
Energie	Si bois énergie : production d'énergie avec un bilan énergétique favorable	Travaux énergivores nécessaires : préparation du sol, plantation, élagage, récolte, transformation.



METAIS, Pascale, 2013, Projet d'intensification agroécologique en grandes cultures biologiques : état des lieux et propositions pour la ferme expérimentale de la Hourre, 42p, mémoire de fin d'études, Lempdes, 2012.

STRUCTURE D'ACCUEIL ET INSTITUTIONS ASSOCIEES:

- ♦ Centre Régional de Recherche et d'Expérimentation en Agriculture Biologique de Midi-Pyrénées (CREAB MP)
- ♦ Institut National de Recherche Agronomique (INRA)

ENCADRANTS :

- ♦ Maîtres de stage : PRIEUR, Loïc (CREAB MP) ;
JUSTES, Eric (INRA) ;
SARTHOU Jean-Pierre (INP ENSAT)
- ♦ Tuteur pédagogique : VASSAL, Nathalie

OPTION : Agronomie, Productions Végétales et Environnement

RÉSUMÉ

Le CREAB MP (centre régional d'expérimentation en agriculture biologique) souhaite réaliser une intensification agroécologique de sa ferme expérimentale, la ferme de la Hourre, conduite en grandes cultures biologiques et sans élevage. L'objectif est multiple : améliorer la durabilité de la ferme, utiliser des techniques innovantes et répondre aux questionnements techniques des agriculteurs sur l'autonomie en azote, l'utilisation des cultures intermédiaires et le non labour.

L'objectif de cette étude est de proposer des scénarios d'intensification agroécologique pour le domaine de la Hourre. Un état de la situation a été réalisé afin d'identifier des objectifs par parcelle. A partir de ces objectifs et de connaissances bibliographiques et d'expertises, des scénarios d'intensification agroécologique à mettre en œuvre et des mesures de suivi du dispositif ont été proposés.

Les principaux facteurs limitants identifiés sont la nutrition azotée, la matière organique et les adventices. Les scénarios construits abordent plusieurs points : le découpage parcellaire, l'aménagement et la gestion d'habitats semi-naturels, la rotation incluant l'utilisation fréquente de cultures intermédiaires et la réduction voire suppression du labour. Les cultures intermédiaires associant légumineuses et non légumineuses sont largement proposées car elles ont un intérêt pour à la fois améliorer la nutrition azotée, apporter de la matière organique et gérer les adventices. Ces scénarios devraient améliorer la fertilité et l'autonomie azotée sans impacter négativement les marges. Cependant, une évaluation plus fine à l'aide d'outils de modélisation serait nécessaire pour être plus affirmatif avant la mise en place du dispositif.

Mots clés : Agroécologie ; agriculture biologique ; grandes cultures ; fertilité ; cultures intermédiaires, habitat semi-naturels