



Amandine CLEMENT

Promotion 2009

Etude des flux de matières et d'éléments en relation avec les pratiques agricoles
au sein d'un système de polyculture-élevage autonome en AB.
Contribution à l'évaluation du degré de bouclage des bilans à la parcelle



Fiorelli J-L



Delsalle L



Clément A



Clément A



Delsalle L

Projet d'Etude

Maitre de stage : Jean-Louis FIORELLI, Ingénieur de Recherche

Tuteur école : Pierre-Yves BERNARD

Structure d'accueil : INRA ; Département SAD ; Unité ASTER

662 Avenue Louis Buffet 88500 Mirecourt

Remise du mémoire (Septembre–2013)

Remerciements

Tout d'abord je tenais à remercier Jean-Louis Fiorelli pour son encadrement de qualité, le temps passé à relire ce rapport et surtout pour son partage de connaissance. Ensuite un grand merci à Jean-Marie pour son grand soutien Access et ses connaissances zootechniques.

Merci à l'ensemble du personnel de l'INRA avec qui j'ai aussi passé d'agréablement moment et qui m'a très bien accueillis comme un membre à part de Mirecourt.

Un remerciement particulier à Amandine D (ou senior comme tu veux) pour les conseils et lessoutiens surtout Access quand malheureusement tu étais ma dernière chance. Merci à Claire, Remi et Louis pour leur connaissance de terrain qui m'ont permis de mieux comprendre les données manipulées.

Merci aux stagiaires pour leur soutien, conseils et surtout pour les bons moments passés au local. En particulier à Katia pour les oiseaux, Lison pour excel (surtout les sommes-si), word et les discussions en tout genre, Aude et Cecilia pour leur aide et bons moments échangés.

Merci à Jean-Luc et Sylvie pour les sorties et les barbecues et Stéphane qui était présent à ces événements.

Pour finir un grand merci à tous pour avoir rendu mes 6 mois de stage à Mirecourt magiques.

Je finirai ces remerciements par une reprise de Jean-Luc :

« A Mirecourt on pleure deux fois, quand on arrive et quand on repart »

Listes des figures

Figure 1 : Triptyque de l'INRA ASTER (INRA ASTER).....	1
Figure 2 : Cascade de l'azote (Peyraud <i>et al.</i> , 2012).....	5
Figure 3 : Cycle du carbone (Arrouays <i>et al.</i> , 2002).....	6
Figure 4 : Cycle du phosphore (MEEDDAT, 2009).....	8
Figure 5 : Parcellaire de l'installation expérimentale (INRA ASTER).....	15
Figure 6 : Schéma des cinq systèmes étudiés (Fiorelli <i>et al.</i> , 2012).....	16
Figure 7 : Allocation des parcelles suivant leur évaluation agronomique (Barataud <i>et al.</i> , soumis).....	17
Figure 8 : Schéma bilan sans pâturage.....	19
Figure 9 : Schéma bilan avec pâturage.....	20
Figure 10 : Nombre de parcelle avec une rotation conforme à sa rotation.....	25
Figure 11 : Evolution du pâturage UGB.....	26
Figure 12 : Evolution du pâturage et des récoltes.....	26
Figure 13 : Quantités totales épandues.....	27
Figure 14 : Evolution des produits et quantités épandues (Fiorelli).....	29
Figure 15 : Entrées et récoltes annuelles des SdC pour l'élément N.....	29
Figure 16 : Entrées et récoltes annuelles des PP pour l'élément N.....	31
Figure 17 : Entrées et récoltes annuelles des SdC pour l'élément P.....	32
Figure 18 : Entrées et récoltes annuelles des PP pour l'élément P.....	33
Figure 19 : Entrées et récoltes annuelles des SdC pour l'élément K.....	34
Figure 20 : Entrées et récoltes annuelles des PP pour l'élément K.....	35
Figure 21 : Entrées et récoltes pluriannuelles des SdC pour l'élément N.....	36
Figure 22 : Entrées et récoltes pluriannuelles des PP pour l'élément N.....	37
Figure 23 : Entrées et récoltes pluriannuelles des SdC pour l'élément P.....	38
Figure 24 : Entrées et récoltes pluriannuelles des PP pour l'élément P.....	39
Figure 25 : Entrées et récoltes pluriannuelles des SdC pour l'élément K.....	40
Figure 26 : Entrées et récoltes pluriannuelles des PP pour l'élément K.....	41

Liste des sigles et abréviations

AB : Agriculture Biologique

C : Carbone

CORPEN : Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement

EMEP : European Monitoring and Evaluation Programme

GES : Gaz à effet de Serre

Ha : Hectare

JP : Journée de Pâturage

K : Potassium

Kg : Kilogramme

L : Litre

MAD : Matière Azotée Digestible

MAT : Matière Azotée Totale

mg : milligramme

mm : Millimètre

MO : Matière Organique

MS : Matière Sèche

N : Azote

NO₂ : Dioxyde d'Azote

P : Phosphore

PF : Point de Fertilité

SH : Système Herbager

SPCE : Système Polyculture Elevage

T : Tonne

VL : Vache Laitière

UGB : Unité Gros Bétail

Sommaire

I.	Introduction	1
1)	Présentation de la structure	1
2)	Présentation du sujet de stage	2
II.	Bibliographie	3
1)	Systèmes de polyculture-élevage et rotation, des techniques importantes en Agriculture Biologique.....	3
2)	Les différents flux d'éléments en jeu dans les activités agricoles.....	4
a.	L'azote, un élément en cascade	4
b.	Flux du carbone et séquestration.....	6
c.	Flux du phosphore, un élément qui participe à l'eutrophisation	8
d.	Flux du potassium	9
3)	Mise en forme de ces flux, différents bilans possibles	9
4)	Opérationnalité des bilans	11
a.	Erreurs et incertitudes	11
b.	Des pistes pour mieux équilibrerles flux d'élément.....	12
III.	Définition et objectifs du sujet	13
IV.	Matériels et Méthodes	14
1)	Description de l'expérimentation système et présentation du site de l'Installation Expérimentale (IE).	14
2)	Présentation du système SPCE.....	16
3)	Présentation des bases de données / outils.....	17
4)	Etude de la gestion des parcelles	18
5)	Bilan retenu et variables du bilan	19
a.	Quel type de bilan ?	19
b.	Calcul des variables d'entrées et de sorties des bilans.....	20
V.	Résultats	25

1)	Description des conduites des parcelles du SPCE.....	25
a.	Analyse des rotations.....	25
b.	Gestion des prairies semées et du pâturage.....	26
c.	Gestion de la fertilisation.....	26
2)	Soldes annuels, étude de 2012.....	29
a.	Le cas de l'azote.....	29
b.	Le cas du phosphore.....	32
c.	Le cas du potassium.....	34
3)	Soldes pluri-annuelles, étude à l'échelle des rotations.....	36
a.	Le cas de l'azote.....	36
b.	Le cas du phosphore.....	38
c.	Le cas du potassium.....	40
VI.	Discussion.....	42
1)	Evolution du système.....	42
2)	Retour sur les soldes.....	42
a.	Retout sur la méthode.....	42
b.	Retour sur les résultats.....	43
VII.	Conclusion & Perspectives.....	46
	Liste bibliographique.....	47
	Liste des annexes.....	I

I. Introduction

1) Présentation de la structure

Cette étude a été réalisée au sein de l'Unité de recherche ASTER-Mirecourt rattachée à l'INRA (Institut National de Recherche Agronomique) de Nancy. L'unité SAD-ASTER (AgroSystèmes Territoires Ressources, du département Sciences pour l'Action et le Développement) a pour objectif de comprendre les dynamiques de changement des systèmes techniques agricoles dans les territoires pour accompagner les transitions de ces systèmes vers une meilleure prise en compte des ressources territoriales. Initié en 2004, ce projet contribue à la thématique « Agriculture économe et autonome pour un développement durable des territoires », déclinée en trois volets méthodologiques (figure 1) : i) modéliser le changement d'usage des terres dans les territoires, ii) analyser et accompagner les transformations des systèmes sociotechniques et iii) concevoir et faire évoluer vers d'avantage d'autonomie des systèmes agricoles autonomes dans des territoires de polyculture-élevage laitier. Ce dernier volet est en lien avec l'Installation Expérimentale (IE), exploitation agricole laitière en agriculture biologique depuis 2005, au sein de laquelle est conduite une expérimentation-système (détaillée dans la suite de ce rapport).

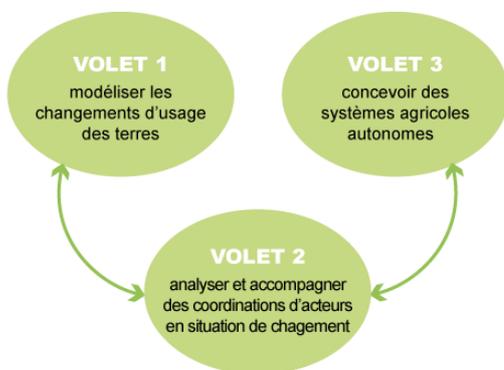


Figure 1 : Triptyque de l'INRA ASTER (INRA ASTER)

2) Présentation du sujet de stage

Dans le cadre de ce troisième volet, les recherches s'intéressent, à travers une démarche pluridisciplinaire qui combine les sciences biotechniques et les sciences humaines, à la durabilité des systèmes de production par une approche systémique de l'exploitation agricole. C'est dans ce volet et plus particulièrement sur les données de l'IE que j'ai réalisé mon stage.

Les chercheurs de l'Unité ont choisi de s'intéresser aux formes d'agriculture qui privilégient l'économie d'intrants, valorisent les ressources du milieu et les mécanismes biologiques naturels. La volonté d'autonomie et de limitation des pertes demande une meilleure gestion des flux d'éléments au sein de l'exploitation, à la fois pour des raisons environnementales mais aussi économiques. C'est pourquoi la notion de bilan à l'échelle des rotations culturales est importante, car elle permet d'estimer les entrées et sorties d'éléments dans les parcelles, et ainsi évaluer les quantités en excès ou manquantes pour atteindre un équilibre et être durable.

Mon stage a donc pour objectif d'analyser le transfert de fertilité au sein de ce système de polyculture-élevage autonome en étudiant les différents flux d'éléments (N, P et K) dans les parcelles à partir de leur solde (entrées/sorties).

Pour cela une première partie bibliographique permet de mieux comprendre le fonctionnement des rotations culturales en agriculture biologique, l'importance des flux de chaque élément et les différents bilans qui existent dans la littérature afin de les évaluer. Ensuite, nous présenterons l'IE et le système étudié, puis les bases de données utilisées et enfin le bilan choisi et les modes de calcul de ses différents postes. Les résultats des soldes annuels et pluriannuels obtenus seront ensuite exposés. Nous reviendrons enfin sur la méthode utilisée et ses faiblesses, pour conclure sur la pertinence de nos résultats.

II. Bibliographie

1) Systèmes de polyculture-élevage et rotation, des techniques importantes en Agriculture Biologique

Etant donné la réglementation de l'agriculture biologique (AB) qui interdit l'apport de tout produit de synthèse et qui privilégie l'autonomie, les systèmes de polyculture-élevage se sont adaptés en favorisant les apports naturels d'éléments grâce aux cultures elles-mêmes et à l'élevage : l'élevage permet de bénéficier d'effluents et d'inclure des prairies dans la rotation.

L'une des différences de fonctionnement entre l'AB et l'agriculture conventionnelle est la gestion des problèmes à plus ou moins long terme. Schématiquement, l'agriculture conventionnelle gère les cultures à court terme grâce à l'apport d'intrants de synthèse alors que l'AB gère à long terme avec des solutions préventives (ex : rotation) (Watson *et al.*, 2002a)

Dans les rotations culturales, l'introduction de couverts intermédiaires avec des Légumineuses permet une certaine accumulation d'azote grâce à la fixation symbiotique ainsi qu'une accumulation de C organique. Par ailleurs, il faut optimiser la durée de présence de l'herbe par rapport à celle des cultures de vente, un ratio qui dépend notamment des besoins alimentaires du troupeau. Une bonne gestion de ces durées permet de meilleurs résultats (Eriksen *et al.*, 2008). Les prairies jouent également un rôle très important car elles permettent un apport d'azote (si elles contiennent des légumineuses) et une accumulation simultanée de carbone (MO qui peut être plus facilement décomposée en prairie grâce à une activité microbienne élevée) (Eriksen *et al.*, 2008 ; Peyraud *et al.*, 2012 ; Watson *et al.*, 2002a). De plus, elles permettent de limiter le lessivage de N et P (Watson *et al.*, 2002a) ; elles contribuent donc fortement à la valorisation de l'azote. Des risques de volatilisation d'azote et d'érosion sont néanmoins présents dans les prairies pâturées, et il y a donc lieu de ne pas les négliger (Delaby *et al.*, 1997).

Une rotation bien conduite permet de limiter les adventices, les insectes et les maladies tout en fournissant les éléments nutritifs indispensables. Une telle rotation présente des phases de fourniture d'azote et d'autres de consommation en aboutissant à un bilan azoté proche de zéro. La plus grande difficulté consiste à synchroniser la minéralisation avec les besoins des cultures (Öborn *et al.*, 2003 ; Watson *et al.*, 2002a).

Les activités d'élevage permettent un recyclage des éléments nutritifs des plantes *via* l'animal (alimentation, digestion, fumier), une interdépendance renforcée en AB qui peut permettre une meilleure gestion de ces éléments (Delaby *et al.*, 1997 ; Velthof *et al.*, 2000). Les restitutions d'éléments nutritifs par les déjections durant le pâturage compensent pratiquement le prélèvement par l'herbe ingérée, ce qui contribue à entretenir la fertilité des sols (Delaby *et al.*, 1997 ; Van Beek *et al.*, 2003 ; Watson *et al.*, 2002a). La qualité du fumier issu des activités d'élevage dépend autant de la digestion des fourrages et des aliments par les herbivores que du stockage et de la transformation éventuelle des effluents (Watson *et al.*, 2002a).

2) Les différents flux d'éléments en jeu dans les activités agricoles

Les flux d'éléments ont des impacts sur l'environnement qu'il est important de connaître afin de mieux les maîtriser et ainsi réduire l'impact de l'agriculture. A l'échelle de la parcelle, ces flux sont composés d'entrées comprenant notamment les apports de fertilisants, la photosynthèse pour le C et la fixation symbiotique pour l'N, avec pour principale sortie les récoltes.

a. L'azote, un élément en cascade

L'azote est un élément nutritif important qui contrôle le rendement et la qualité de la production (protéine). Les relations entre C et N, (souvent exprimées par le ratio C/N) déterminent la vitesse de décomposition de la MO. Il est intéressant de connaître ce ratio ainsi que la teneur en MO du sol afin de prédire les périodes de minéralisation de N et de les comparer avec celles des besoins des cultures (Topp *et al.*, 2007 ; Velthof *et al.*, 2000). Une proportion en N importante engendre une augmentation de la minéralisation de la MO et inversement, avec une proportion de C élevée il y a une mobilisation de N qui peut par exemple être utilisée pour limiter le lessivage (Raison *et al.*, 2008 ; Watson *et al.*, 2002a).

La fixation symbiotique, bien qu'apport majeur d'azote en AB, n'est pas infinie : il existe une autorégulation des Légumineuses qui réduit l'entrée d'azote à long terme (cela permet une réduction des pertes par lessivage) (Eriksen *et al.*, 2008). Cette fixation est variable selon les légumineuses, leurs âges et certains paramètres du sol (pH, N,...) (Watson *et al.*, 2002b).

En plus de la fixation, les entrées d'azote sont composées par la fertilisation, notamment avec les effluents d'élevage (Loges *et al.*, 2009 ; Van Beek *et al.*, 2003), qui constitue les entrées les plus importantes dans la cascade de l'azote (figure 2). Cette cascade est un phénomène qui prend en compte la transformation de l'azote réactif et le transfert de celui-ci vers l'environnement. Il est le résultat d'une « diminution de l'efficacité de la conversion de

l'azote dans les systèmes ». A peine 50% de l'azote se retrouve dans les parties récoltées des cultures, l'autre moitié se retrouvant dans le sol ou dispersé dans l'environnement. Il en est de même pour l'azote fourni par l'élevage, la moitié se retrouvant dans l'environnement, avec pour principaux lieux d'émissions, les bâtiments d'élevage, les zones de stockage d'effluents et les parcelles pâturées et/ou fertilisées. (Peyraud *et al.*, 2012)

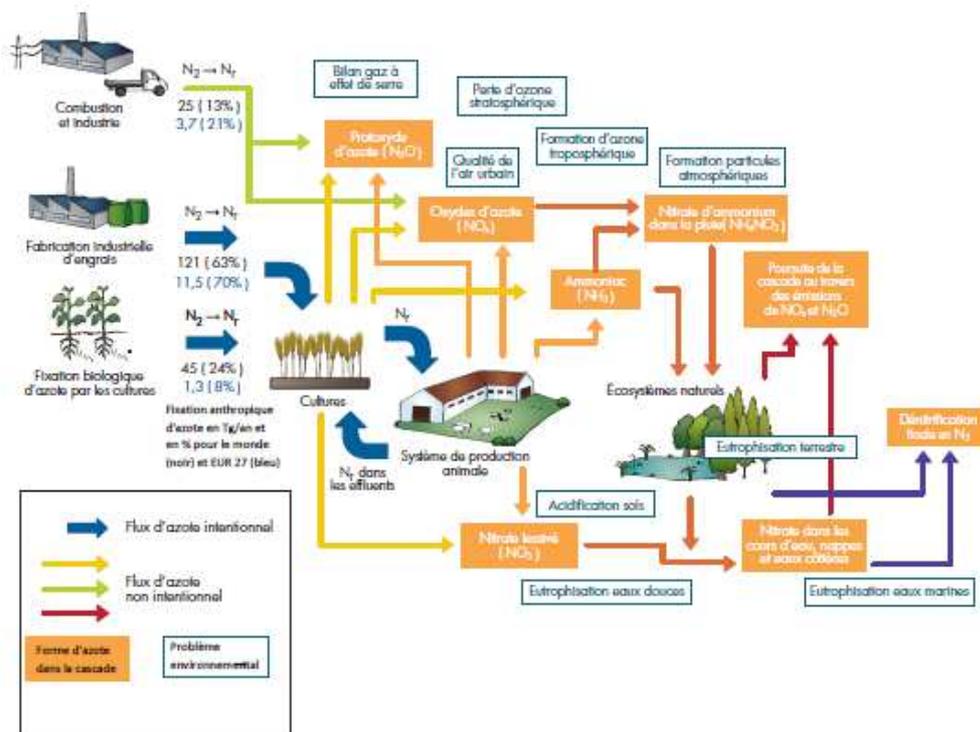


Figure 2 : Cascade de l'azote (Peyraud *et al.*, 2012)

Il y a une différence entre les flux d'azote en grande culture et en prairie, concernant notamment les flux entrants, plus nombreux en prairie pâturée dû à la présence des animaux (déjections et alimentation complémentaire). De plus concernant les sorties, d'autres différences caractérisent ces deux formes d'usage des terres avec notamment de moindres exportations par les animaux. En grandes cultures, les pertes vers l'environnement (NO_3 , NH_4 , N_2O , N_2 , NO) sont généralement moindres qu'en élevage (Peyraud *et al.*, 2012). La plus grande perte par lessivage est due à des labours d'automne après une destruction de prairies temporaires ; les cultures fourragères sur sol filtrant favorisent aussi ce phénomène (Raison *et al.*, 2008).

Pour éviter les pertes il est donc important de connaître les besoins des cultures pour permettre les bons apports aux bons moments. Il est aussi nécessaire de connaître les besoins des animaux pour éviter les excès d'énergie et de protéines qui sont recyclés dans le rumen ou par le foie et par la suite évacués sous forme d'urée (Peyraud *et al.*, 2012 ; Velthof *et al.*,

2000). De plus, le mode de gestion des effluents affecte les émissions de NH₃ : pour cela des techniques ont été développées notamment lors du stockage (couverture des fosses) et de l'épandage (utilisation de rampes (pendillards)), mais aussi en améliorant le traitement de ces effluents afin de conserver l'azote et de l'exporter. Les prairies jouent également un rôle important dans le recyclage/stockage de l'azote, supérieur aux autres modes de recyclage tel que la méthanisation, le compostage ou l'épuration biologique car elles limitent simultanément les risques d'érosion en « formant » une couverture permanente du sol et ne reçoivent quasiment jamais de produits phytosanitaires. (Peyraud *et al.*, 2012)

b. Flux du carbone et séquestration

« La photosynthèse est la voie quasi unique de fixation biologique du CO₂ atmosphérique. La matière organique (MO) ainsi synthétisée finit par être dégradée : par la respiration (avec libération de CO₂) ou, en conditions anaérobies, par fermentation (avec libération de CH₄). » (figure 3) (Arrouays *et al.*, 2002)

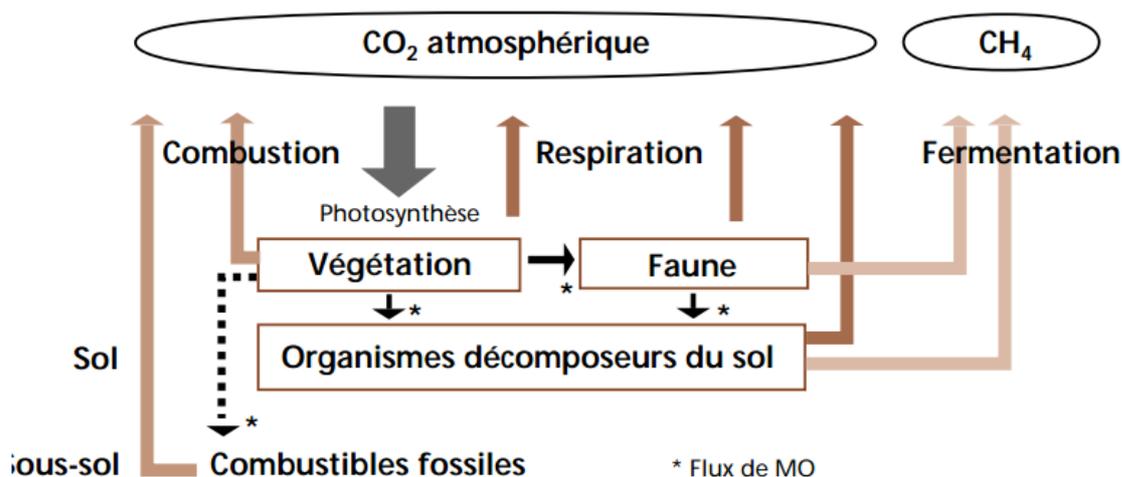


Figure 3 : Cycle du carbone (Arrouays *et al.*, 2002)

Un ratio C/N élevé (>20, décomposition lente de la MO) permet le maintien d'une MO stable et par la même occasion une bonne fertilité du sol et une séquestration du C. Cette séquestration est depuis le protocole de Kyoto un moyen mis en avant pour compenser une partie des émissions de gaz à effet de serre (GES). Ce phénomène peut être développé plus particulièrement grâce à l'agriculture en piégeant du carbone dans la biomasse et dans les sols. Le carbone est ainsi stocké dans le sol sous forme organique qui provient par exemple de la végétation, des organismes morts et des déjections animales. (Arrouays *et al.*, 2002)

La MO peut se lier à des particules minérales (argiles par exemple) ce qui ralentit sa minéralisation en la protégeant contre les micro-organismes et limite donc la libération de

CO₂. La composition de la MO ainsi que les conditions physico-chimiques impactent la vitesse de minéralisation. Une bonne gestion de la MO permet donc d'améliorer les propriétés chimiques, biologiques et physiques du sol afin d'optimiser la production (Arrouays *et al.*, 2002 ; Toppet *et al.*, 2007).

L'évolution du stock de C est déterminée par le solde entrée de matière organique / sortie de CO₂. L'entrée de MO se fait notamment grâce aux apports de fumier, mais aussi avec les résidus de culture pour lesquels la qualité a un impact sur la capacité et le temps de libération des éléments nutritifs (Arrouays *et al.*, 2002 ; Velthof *et al.*, 2000 ; Watson *et al.*, 2002a). Il faut trouver le juste milieu entre stabilité et dégradabilité de la MO afin d'éviter les pertes par dénitrification. La stabilité dépend notamment de la composition en C du fumier qui est elle-même définie par le type d'animal et les aliments qu'il ingère. Un fumier de bovins est plus stable qu'un fumier de volaille et le fumier de porc est le moins stable (Velthof *et al.*, 2000).

Pour réduire les émissions de C, il s'agit de diminuer les pertes. Pour cela, il est possible d'effectuer un travail du sol simplifié et peu profond à la place du labour et d'utiliser des sources alternatives à la fertilisation minérale telles que les résidus et la fixation symbiotique (Lal, 2004).

Ces alternatives permettent le stockage du C. De plus en augmentant la production, on accroît par la même occasion les apports de MO au sol (*via* la biomasse présente et les apports) et donc le stockage de C. Les effets de la séquestration sont un avantage pour l'agriculture car l'accroissement de la MO permet d'améliorer la stabilité structurale du sol, de garantir une réserve en éléments nutritifs et en eau. De plus, les pratiques favorisant la séquestration fournissent d'autres bénéfices environnementaux (réduction de l'érosion et des pollutions, maintien de la biodiversité, etc) (Arrouays *et al.*, 2002)

Réduire le travail du sol, ne pas chercher à trop augmenter les rendements permet donc d'améliorer la séquestration du C et d'améliorer la fertilité du sol (Toppet *et al.*, 2007). Cependant en AB il peut être difficile de faire un travail du sol « trop simplifié », car c'est l'une des solutions pour limiter les adventices. Les prairies qui jouent un rôle dans la lutte contre les adventices et maladies, permettent une réduction des intrants phytosanitaires et favorisent le stockage du carbone, elles contribuent donc à la réduction de l'empreinte carbone de la viande et du lait pour les systèmes qui utilisent beaucoup de prairie (Peyraud *et al.*, 2012)

c. Flux du phosphore, un élément qui participe à l'eutrophisation

Le phosphore est tout aussi important que les autres éléments car il est indispensable pour la photosynthèse et le transfert d'énergie (Velthof *et al.*, 2000). Cet élément est limité dans la nature et généralement stable dans le sol. Il est issu de l'altération des roches pour la forme minérale tandis que le P organique provient de la dégradation des végétaux (figure 4). Ces différentes formes de P sont disponibles pour les plantes car elles sont solubles. Pour les terres agricoles l'apport est nécessaire pour compenser l'exportation des cultures et rend donc ce milieu plus émetteur de P vers l'environnement que les milieux naturels où il y a une certaine accumulation dans le sol. Lorsqu'il est en excès, il y a lessivage de P qui rejoint les eaux de surface et provoque alors une eutrophisation (en plus des nitrates), un phénomène qui augmente la toxicité des eaux et donc le coût de potabilisation de l'eau (MEEDDAT, 2009 ; Öborn *et al.*, 2005).

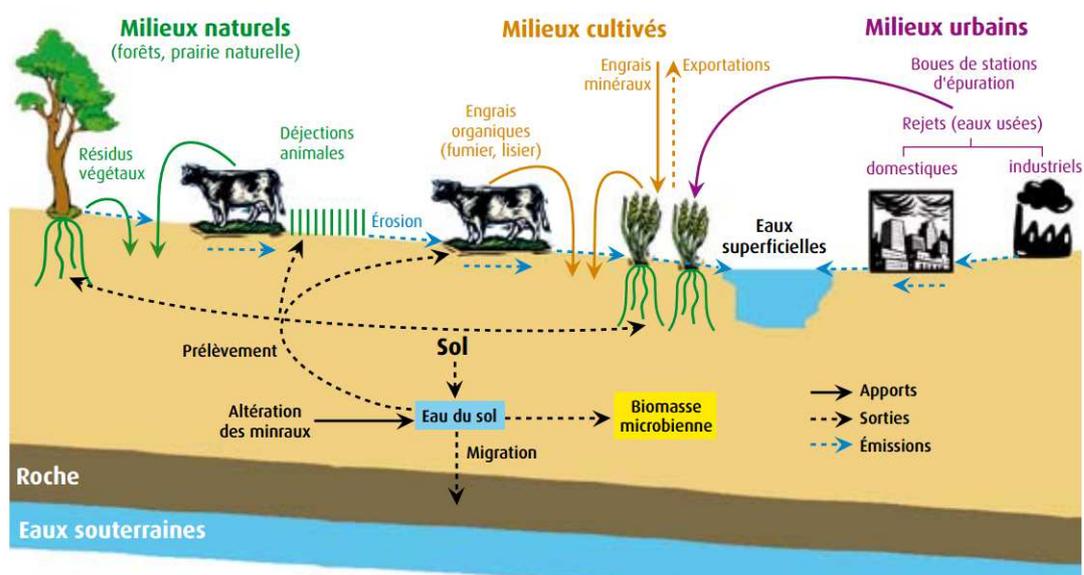


Figure 4 : Cycle du phosphore (MEEDDAT, 2009)

Au niveau des cultures, le fumier est l'apport majeur de P (Velthof *et al.*, 2000). Le traitement des effluents pourrait permettre de conserver le phosphore afin de l'exporter et ainsi de mieux gérer la répartition du phosphore sur les territoires. Pour limiter l'eutrophisation provenant par le milieu agricole il s'agirait de raisonner les systèmes afin de limiter l'érosion des sols (occupation des sols, réduction/fragmentation des apports, bande enherbée...).

Les besoins en engrais phosphatés de l'agriculture ont augmenté et engendré une utilisation de phosphates « industriels ». Un meilleur suivi de la composition chimique des sols a permis une diminution de la fertilisation phosphatée. Pour ce qui est de la région Lorraine, les livraisons en P ont été supérieures à la moyenne sur la période 2004-2008 : ceci pourrait

s'expliquer par la présence importante des cultures de colza exigeantes en P dans une région aux sols pauvres en cet élément. (MEEDDAT, 2009).

d. Flux du potassium

Cet élément permet un équilibre osmotique de la plante et joue aussi un rôle dans la photosynthèse (Barré *et al.*, 2007). Les dépositions atmosphériques sont généralement faibles mais cette source augmente si on est proche d'une zone d'élevage ou de la mer (Watson *et al.*, 2002b). Cet élément est soluble : il y a donc un risque plus important de perte. Une recirculation importante est possible ce qui limite les valeurs d'entrées (Öbornet *et al.*, 2005 ; Barré *et al.*, 2007). Le potassium (K) sous forme échangeable est adsorbé par la matière organique du sol, mais représente une faible proportion du K disponible pour les plantes, tandis que le K non échangeable présent dans les argiles contribue à 80-100% aux besoins des plantes (Barré *et al.*, 2007).

3) Mise en forme de ces flux, différents bilans possibles

Les bilans d'éléments sont construits afin d'améliorer la compréhension des cycles, mais aussi comme indicateurs de performance et leviers de sensibilisation à leur gestion (Oenema *et al.*, 2003). Le détail des termes du bilan dépend du type de ferme, des sorties et des entrées ; le choix d'un modèle dépend donc de ce qu'on souhaite étudier et des objectifs de cette étude (Oenema *et al.*, 2003 ; Toppet *et al.*, 2007 ; Watson *et al.*, 2002b).

Il existe trois types de bilan avec chacun leurs avantages et inconvénients :

- Le « farm-gate balance » (FGB) est fondée sur le principe d'une boîte noire avec différentes entrées et sorties calculées avec des informations facilement disponibles et applicables à différentes échelles (Öbornet *et al.*, 2003). Le plus souvent, ce bilan prend en compte les flux entrants et sortants sans considérer les flux difficilement «contrôlables» comme la fixation biologique de l'azote, la déposition atmosphérique et les pertes (Öbornet *et al.*, 2005 ; Van Beeket *et al.*, 2003 ; Watson *et al.*, 2002b). C'est la mesure la plus intégrative de la pression environnementale et la plus appropriée comme indicateur de performance environnementale.

- Le « soil surface balance » (ou field balance) (SSB) : ce bilan nécessite des données plus détaillées et fournit une évaluation du surplus correspondant à la volatilisation, la dénitrification, le lessivage et la minéralisation ou du déficit net résultant des flux (Öbornet *et al.*, 2003 ; Van Beeket *et al.*, 2003). Il est donc composé des entrées et sorties au niveau des parcelles en prenant en compte notamment la déposition atmosphérique (Van Beeket *et al.*,

2003). Cependant, il n'indique pas la nature ni le devenir des surplus tels que pertes ou stockage dans le sol (Öbornet *al.*, 2005 ; Watson *et al.*, 2002b). Ce bilan est approprié pour estimer la « charge nette » des éléments dans le sol, car il trace tous les éléments qui entre dans le sol et le quitte via l'absorption par les cultures. Il est utilisé par l'OCDE comme indicateur de performance environnementale (Oenemaet *al.*, 2003).

- Le « system balance » est le bilan le plus détaillé, susceptible de fournir des informations à chaque niveau du système (Öbornet *al.*, 2003). Il détaille les informations des différents flux (entrées, sorties, pertes, flux internes), à tous niveaux, en traçant tous les éléments, incluant aussi pertes et gains à l'intérieur et à partir du sol : il réclame une très grande quantité de données (Oenemaet *al.*, 2003 ; Watson *et al.*, 2002b). Il est souvent utilisé en recherche pour décrire la destination des surplus (Oenemaet *al.*, 2003)

Les limites temporelles et spatiales sont importantes et doivent être clairement explicitées (Öbornet *al.*, 2005 ; Oenemaet *al.*, 2003 ; Watson *et al.*, 2002b). Une mise en relation avec des analyses de sol peut permettre d'approfondir ces bilans (Öbornet *al.*, 2003).

Il existe des modèles pour calculer spécifiquement les bilans d'azote tels que :

« AzoPât » (Delabyet *al.*, 1997 ; Decauet *al.*, 1997) : L'objectif de ce modèle est de calculer un bilan azoté sur une parcelle pâturée. Le cycle de l'azote est établi entre le sol, la végétation, les animaux et l'environnement. Des hypothèses sont retenues pour estimer différents termes : l'ingestion d'herbe est estimée en fonction des performances laitières, la quantité ingérée correspondant aux besoins énergétiques dont on déduit les compléments alimentaires. La restitution azotée par les déjections est la quantité d'azote ingérée diminuée de l'azote exporté dans le lait. Les quantités d'herbe ingérées reposent cependant sur des données qui ne sont disponibles qu'a posteriori

« BASCULE » (Benoît, 1992) : Ce modèle propose le calcul d'une balance et non d'un bilan à proprement parler qui permet d'aider les agriculteurs à évaluer leur système. Le but est d'étudier les entrées et sorties de toutes les parcelles de l'exploitation. Si la balance est positive (entrées supérieures aux sorties), la parcelle s'enrichit en N : ce gain est soit perdu vers l'eau ou l'air, soit conservé dans le sol et augmente alors le stock des matières minéralisables à terme. L'établissement de cette balance qui utilise les références du CORPEN consiste à identifier toutes les pratiques agricoles (apports, récoltes, pâturage) pour

établir une balance annuelle (apports - récoltes) compte tenu de la teneur en N des matières concernées. Le calcul final (à un niveau plus global, celui du parcellaire de l'exploitation par exemple) consiste à faire la somme des excédents des balances de chaque parcelle en ne tenant compte que des balances positives (les balances négatives ne jouant pas le rôle d'anti-nitrate...). Une limite de cette approche réside dans la surestimation de l'agressivité des pratiques en « négligeant » les parcelles négatives.

Il y a différentes façons d'utiliser ces bilans, ce qui rend les comparaisons d'études difficiles. S'ajoutent à cela la variabilité des données, des systèmes et des objectifs. Il faudrait pour ces raisons, estimer ces différentes sources de variations (Öbornet *al.*, 2003 ; Oenemaet *al.*, 2003 ; Toppet *al.*, 2007).

4) Opérationnalité des bilans

a. Erreurs et incertitudes

Pour améliorer la précision des bilans, plusieurs approfondissements sont nécessaires, notamment pour certains apports tels que ceux réalisés au moyen des effluents d'élevage ; les multiples sources de variation de ces produits les rendent difficiles à déterminer. (Velthofet *al.*, 2000). De plus, l'estimation des flux internes avec le problème du stockage dans le sol, la difficulté d'obtenir des données précises et compréhensives, la disponibilité et le temps de relargage souvent mal connu des éléments nutritifs sont des problèmes à résoudre afin d'améliorer la précision des bilans (Öbornet *al.*, 2003).

Il existe également des biais et des erreurs dus aux défauts d'interprétation des personnes, à l'échantillonnage, aux mesures, aux manipulations des données et aux fraudes. Une classification de ces biais et erreurs est possible ; moins de 5% d'incertitude pour les entrées/sorties avec « factures », 5 à 20% pour les flux « non facturés » (fumier, déposition atmosphérique) et plus de 20% pour les pertes via lessivage, volatilisation et autres (Oenemaet *al.*, 2003).

Il y a quatre façons de réagir face à ces incertitudes. On peut ignorer i) les bilans incertains, ii) considérer le résultat mais ignorer l'incertitude, iii) évaluer l'incertitude d'une façon qualitative et faire avec en adoptant une position de prudence, mais aussi iv) aborder l'incertitude et ses implications explicitement et quantitativement (Oenemaet *al.*, 2003).

b. Des pistes pour mieux équilibrer les flux d'éléments

Dans le cas d'exploitations spécialisées (que des cultures ou que de l'élevage) il est possible de recycler les éléments à l'échelle régionale afin d'éviter les pertes : De tels systèmes demandent encore de l'organisation et des études pour être mis en place à long terme (Oenema *et al*, 2002). Une autre marge de progrès possible est l'amélioration de la gestion des déjections (Raison *et al*, 2008). De plus, le transport de fournitures peut correspondre à 40% des entrées de produit, il est donc possible de diminuer les valeurs d'entrées du bilan en augmentant l'approvisionnement local et/ou groupé (Toppet *et al*, 2007).

Pour réduire les surplus d'azote au niveau des parcelles, il faudrait stimuler le fonctionnement biologique du sol, améliorer la qualité du fumier (en augmentant C/N tout en augmentant N organique), changer de stratégie d'épandage, couper l'herbe à un stade plus avancé et changer l'alimentation en réduisant les protéines et en augmentant les fibres. Ces pratiques ont donné un résultat satisfaisant lors d'une étude réalisée chez 60 agriculteurs (Verhoeven *et al*, 2003).

Pour améliorer la gestion globale des nutriments, il est important d'accompagner et de changer les mentalités afin d'obtenir une réelle action favorable de la part des agriculteurs. Pour cela il est nécessaire d'avoir trois types d'instruments politiques qui sont le conseil et l'apprentissage pour permettre une meilleure compréhension, le contrôle pour une meilleure gestion et les encouragements économiques pour faciliter l'implantation des pratiques, non seulement au plan politique, mais également avec des consommateurs qui aient la volonté d'acheter des produits respectueux de l'environnement (Öborn *et al*, 2003 ; Oenema *et al*, 2002). Ces instruments pourraient être discutés à la suite des bilans pour développer une gestion durable des éléments. Des groupes d'intervention composés d'acteurs qui ont des intérêts, des connaissances du sujet et des problèmes rencontrés complémentaires tels que des acteurs de la filière agricole, des agriculteurs aux consommateurs, en passant par des politiques et scientifiques pourraient être créés (Öborn *et al*, 2003).

III. Définition et objectifs du sujet

Ce stage consiste à une analyse du système de polyculture-élevage autonome en agriculture biologique afin de quantifier les effets des différentes conduites et pratiques agricoles (de fertilisation, de culture, de pâturage ...) sur les transferts internes de fertilité. L'objectif principal est donc d'analyser les flux d'éléments majeurs (N, P, K) dans chaque parcelle de ce système. Il fait suite aux travaux antérieurs réalisés lors du stage de El-Hadi Zenboudji sur le système SH, qui a donc permis de préparer les outils et les supports d'exploitation des données.

Quels sont les soldes des éléments N, P et K de chaque parcelle du système ? Ces parcelles sont-elles, avec les soldes actuels sans prendre en compte les données concernant les produits animaux, en excès ou déficitaires ?

Pour répondre à cette problématique nous avons tout d'abord réalisé une description du système de polyculture-élevage afin de :

- _ Cerner les activités qui apportent ou exportent des éléments,
- _ Décrire les changements engendrés par l'évolution pas à pas du système.
- _ Identifier les différences de gestion des parcelles (ITK, localisation, couverts...)

Par la suite, la réalisation des soldes grâce au bilan « sol-surface » a permis de quantifier l'impact de cette gestion. Ces bilans ont pour objectifs d'évaluer le degré de bouclage des éléments et ainsi « rendre compte de la durabilité du système », mais durant ce stage seuls les postes non liés au produit animaux ont été calculés.

IV. Matériels et Méthodes

1) Description de l'expérimentation système et présentation du site de l'Installation Expérimentale (IE).

L'expérimentation système de l'IE ASTER de Mirecourt est une expérimentation à long terme de deux systèmes de production agricoles, conduits comme il le serait au sein d'une exploitation ordinaire, avec cependant des activités spécifiques de caractérisation de différents éléments en fonction des thèmes de recherche. Cette expérimentation « en grandeur réelle » se différencie fortement des sites d'expérimentation « classiques » : elle permet d'être plus proche de la réalité agricole, en particulier sous l'angle de l'apprentissage des pratiques et des réponses apportées aux aléas caractéristiques de la gestion d'un système de production. Le suivi y est rigoureux avec notamment la réalisation systématique de pesées de la plupart des produits récoltés, ingérés, épandus, etc, afin de quantifier un certain nombre de flux qui animent les deux systèmes. Au niveau des parcelles, 74 points de fertilité (PF) sont l'objet de suivis plus détaillés : il s'agit de zones homogènes de 30m sur 30m, représentatives de combinaisons entre le passé cultural, le système de culture actuel et le type de sol. Sur ces PF sont réalisés les prélèvements d'échantillons pour l'analyse des récoltes, le comptage des adventices et autres données permettant de suivre au mieux les cultures. (Coquil *et al.*,2011)

L'IE se trouve à 289m d'altitude dans la plaine des Vosges, en Lorraine. Le climat est de type continental avec des précipitations annuelles moyennes entre 2005 et 2012 de 846 (\pm 147) mm. La température moyenne annuelle pour cette même période a été de 10.0°C, avec une minimale en janvier (1.5°C) et une maximale en juillet (18.6°C). Plusieurs types de sols composent le parcellaire avec pour roche mère des marnes et des dolomies ainsi que des textures allant d'argileuses à limono-sableuses. La profondeur des sols varie de moins de 40cm à plus de 120cm, ce qui crée une grande hétérogénéité au sein des parcelles du système. Cette installation au parcellaire groupé autour du siège d'exploitation (figure 5) comprend aujourd'hui 106 ha de surfaces assolées et 131 ha de prairies permanentes. Deux systèmes sont configurés dans un seul corps de ferme (avec une salle de traite unique) : le SH avec 78 ha de prairies permanentes pour nourrir 40 vaches laitières et les génisses de renouvellement ; le SPCE rassemble toutes les surfaces cultivées (106 ha) et 53 ha de prairies permanentes, ainsi qu'un troupeau laitier de 60 vaches laitières et ses génisses de renouvellement. Chaque système assure son autonomie fourragère, le SPCE fournissant de surcroît l'autonomie en

paille et en aliments concentrés (pour les veaux essentiellement) des deux systèmes avec un échange de ces produits contre du fumier du SH (Coquil *et al.*, 2011).

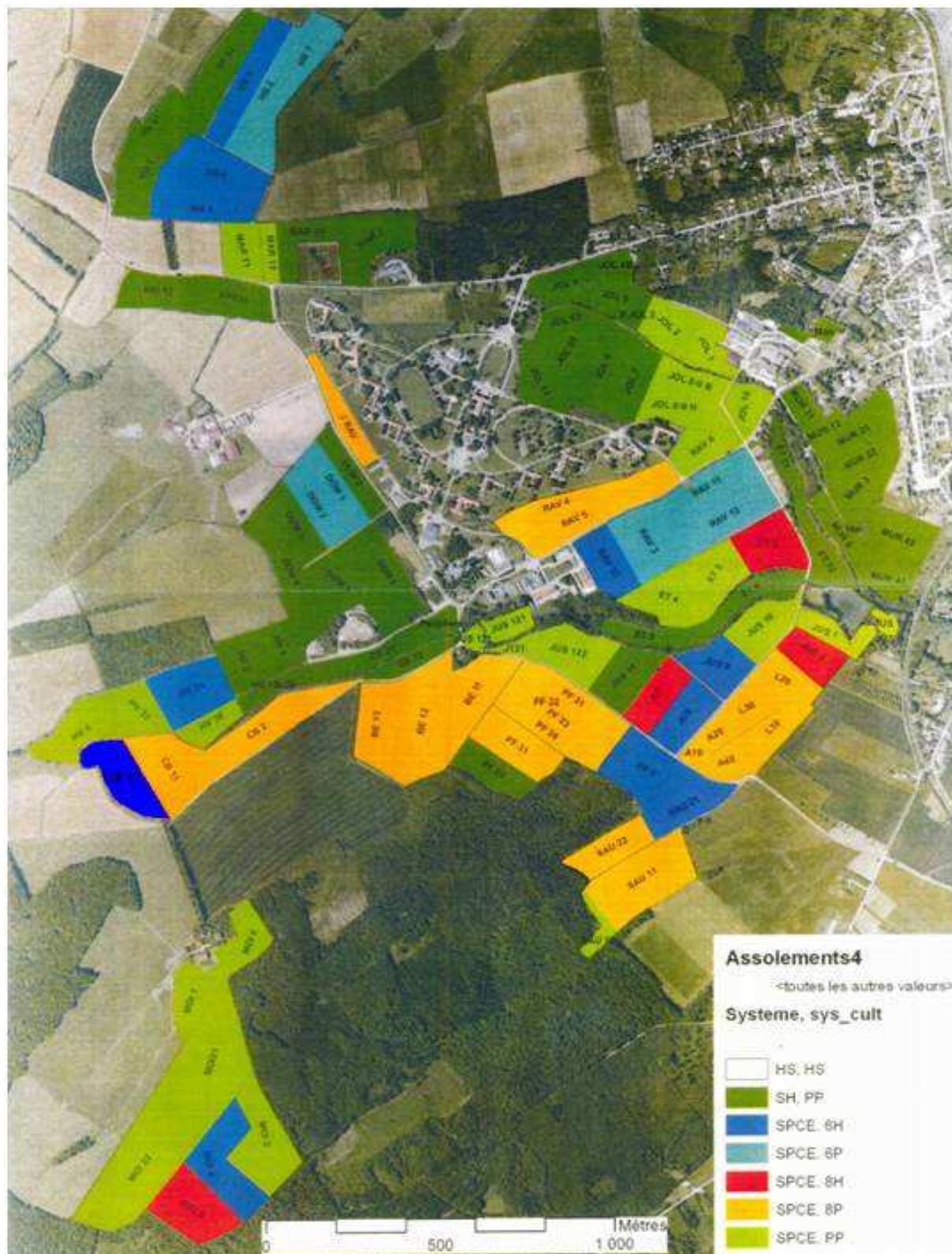


Figure 5 : Parcellaire de l'installation expérimentale (INRA ASTER)

2) Présentation du système SPCE

Ce système est indépendant du point de vue du parcellaire et du troupeau, mais connecté à l'autre système à travers l'échange paille-fumier. Il est donc doté d'un fonctionnement propre tout en respectant le principe d'autonomie réclamé par la réglementation AB et retenu par l'équipe de recherche ASTER de Mirecourt.

Le SPCE comprend cinq systèmes de culture (SdC) dont un système de prairie permanente et quatre systèmes en rotation culturale (figure 6) dépendant des caractéristiques pédologiques des parcelles. Cela représente 43 parcelles cultivées et 26 prairies permanentes, soit au total 69 parcelles distribuées en cinq systèmes de culture. Selon les types de sol, le semis de printemps n'est pas toujours possible : cela conduit à distinguer deux types de rotations, avec ou sans culture de printemps (respectivement P et H). Les caractéristiques du sol donnent encore lieu à la distinction de deux types de rotations de 8 ans et de 6 ans, qui se distinguent par leur durée et la nature des prairies semées en tête de rotation : des luzernes associées (à du dactyle ou à plusieurs graminées) dans les rotations de 8 ans, des prairies temporaires sans Luzerne dans les rotations de 6 ans (figure 7).

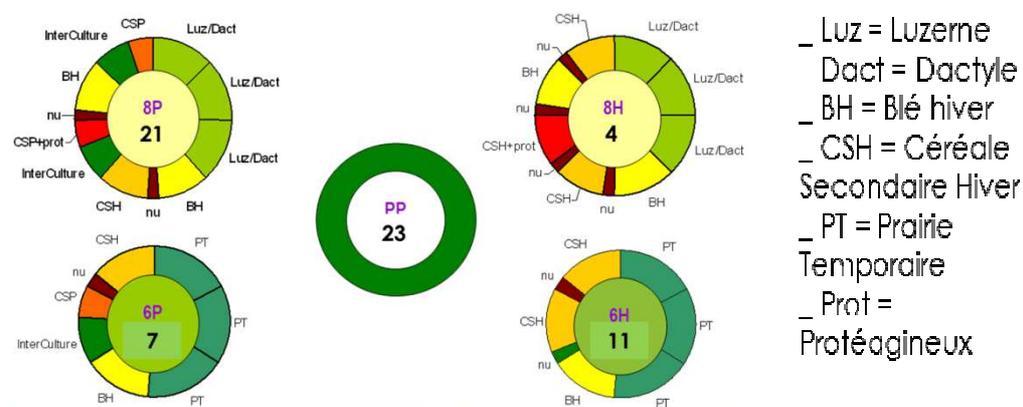


Figure 6 : Schéma des cinq systèmes étudiés (Fiorelli *et al.*, 2012)

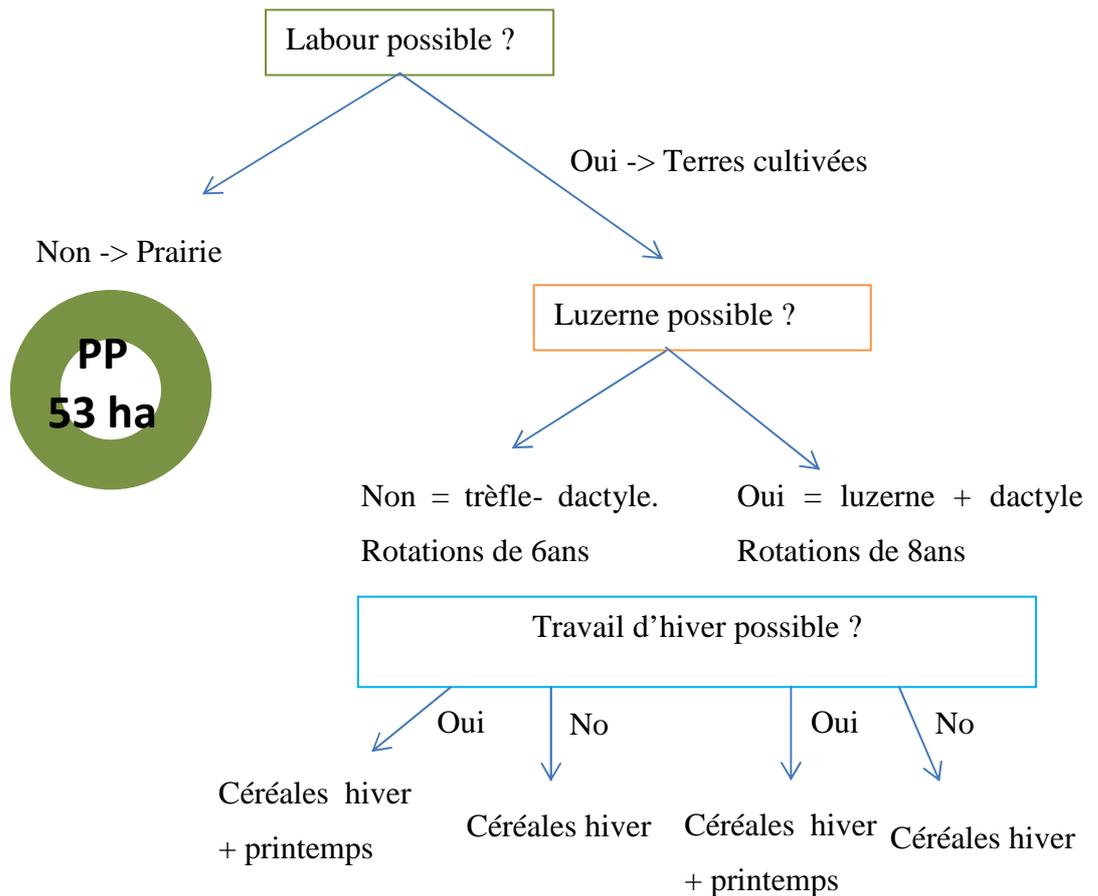


Figure 7 : Allocation des parcelles suivant leur évaluation agronomique. (Barataud *et al.*., soumis)

Le troupeau est composé de 60 vaches laitières qui ont produit en moyenne 5 800kg de lait par vache et par an de 2006 à 2012. Les animaux sont logés sur aire paillée afin d'obtenir du fumier. Ce besoin en paille se traduit par des rotations à forte proportion de céréales (Visite avec M. Godfroy). Le troupeau est constitué à parité de vaches Holstein et Montbéliarde, les vêlages étant groupés sur 3 mois en fin d'été et en automne. (Coquil *et al.*, 2011)

Le troupeau du SPCE consomme le fourrage issu des prairies du SPCE complété par l'aliment concentré issu des cultures. Le blé est la seule culture exclusivement vendue. Au niveau du pâturage on distingue deux secteurs, un premier dit accessible aux vaches en lactation, c'est-à-dire les parcelles les plus proches du siège de l'exploitation (maximum 1.2 km) et l'autre secteur qui comprend les parcelles les plus éloignées qui accueillent les autres catégories d'animaux soit majoritairement des génisses. (Schéma parcellaire avec différenciation des secteurs)

3) Présentation des bases de données / outils

Pour cette étude j'ai dû utiliser ASTER-ix (Application pour la Saisie et le Traitement des Evènements Recensés sur l'Installation eXpérimentale), une base de données conçue localement qui permet de recueillir toutes les données et informations liées à la gestion de l'IE

et de les traiter informatiquement. Cette base a pour objectifs i) d'évaluer les deux systèmes ii) de permettre un suivi agricole et réglementaire de l'IE et iii) de pouvoir proposer des données « avec un recul temporel de plus de 10ans à des équipes de recherche extérieures » (Trommschlagel et al. 2010).

En complément d'ASTER-ix qui renseigne les données au niveau des cultures, les bases ALADIN et Paturix sont quant à elles spécifiques aux données zootechniques :

- ALADIN pour tout ce qui concerne l'alimentation, la reproduction, les données sanitaires et autres.
- Paturix est un module permettant de traiter les données liées au pâturage avec notamment les journées de pâturage UGB, la composition des prairies en légumineuses, etc.

Grâce aux tables de données de ces bases, j'ai pu constituer ma propre base de données ALAMB-ix_AC et ainsi réaliser des requêtes afin de réunir les informations nécessaires pour mon étude (annexe 1). A partir de ces extractions j'ai pu obtenir des données telles que les récoltes par parcelles, les analyses de ces récoltes, les analyses des produits épandus et autres.

Ensuite, les extractions ont été traitées sur Excel, afin d'obtenir des bilans finaux par système de culture, parcelle et par année. Il a néanmoins fallu procéder à des arbitrages pour remplacer les données manquantes.

4) Etude de la gestion des parcelles

Grâce à l'étude de ces bases de données, j'ai pu aborder les traits principaux du fonctionnement du SPCE. L'étude des données détaillées des itinéraires techniques (ITK) a permis leur représentation dans les différentes parcelles constitutives du SPCE pour l'ensemble des années de l'étude, c'est-à-dire de la campagne 2005 à 2012 incluses soit 8 années. Cette première investigation a permis de mieux cerner le système, de classer les parcelles quant à leur conformité aux rotations-types (annexe 2), d'établir des graphiques représentant les périodes de couverture des sols et d'épandage (annexe 3) ainsi que les périodes de pâturage et récoltes (annexe 4), ceci afin de mieux m'imprégner du système mais aussi afin d'établir des hypothèses sur l'impact que peuvent avoir les pratiques agricoles sur les bilans des différents éléments étudiés.

5) Bilan retenu et variables du bilan

a. Quel type de bilan ?

Le bilan des éléments que nous avons retenu est le bilan qualifié de « sol-surface », qui considère le sol des parcelles comme une boîte noire et permet par ailleurs de s'affranchir d'une quantification détaillée de certaines données liées aux animaux telles que l'ingestion d'herbe et les restitutions de déjections au pâturage.

Ce bilan est en accord avec l'objectif principal de cette étude de savoir s'il y a un appauvrissement du sol en éléments ou non au sein des parcelles du système, et donc d'apprécier si les entrées d'éléments sont suffisantes pour compenser les sorties. Il est réalisé pour chaque parcelle du système SPCE, l'ensemble de ces parcelles fournissant une certaine vision globale du système. Concernant les limites temporelles, l'établissement de ces bilans est réalisé à l'échelle des campagnes culturales successives. L'objectif final consistera, pour chaque parcelle, à agréger les bilans de chaque campagne à l'échelle d'une rotation complète, soit de 2005 (année de conversion) à 2012 (dernière campagne terminée) pour les parcelles en 8ans, et de 2007 à 2012 pour les parcelles en 6 ans.

Le bilan « sol-surface » (figure 8 et 9) prend en compte toutes les entrées externes à la parcelle soit la fertilisation, les semences et l'alimentation complémentaire (non étudié durant ce stage) pour le phosphore, le potassium et le carbone et en plus la déposition atmosphérique et la fixation symbiotique pour l'azote. Cependant pour le carbone, la photosynthèse constitue l'entrée la plus importante mais aussi la plus complexe à quantifier ; nous ne l'avons donc pas retenue, n'étant pas en mesure de manipuler des modèles de culture.

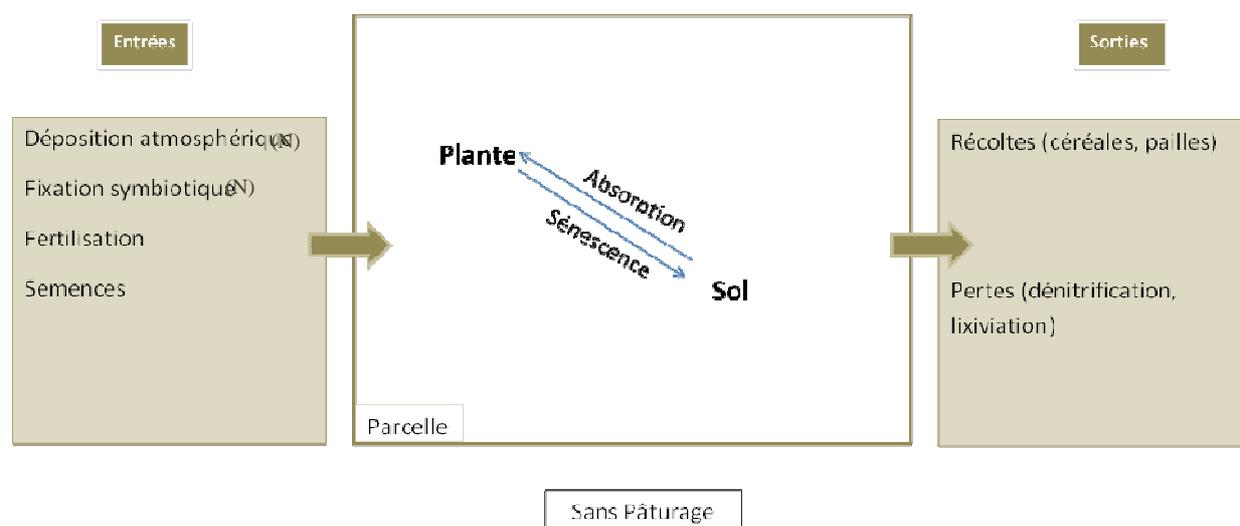


Figure 8 : Schéma bilan sans pâturage

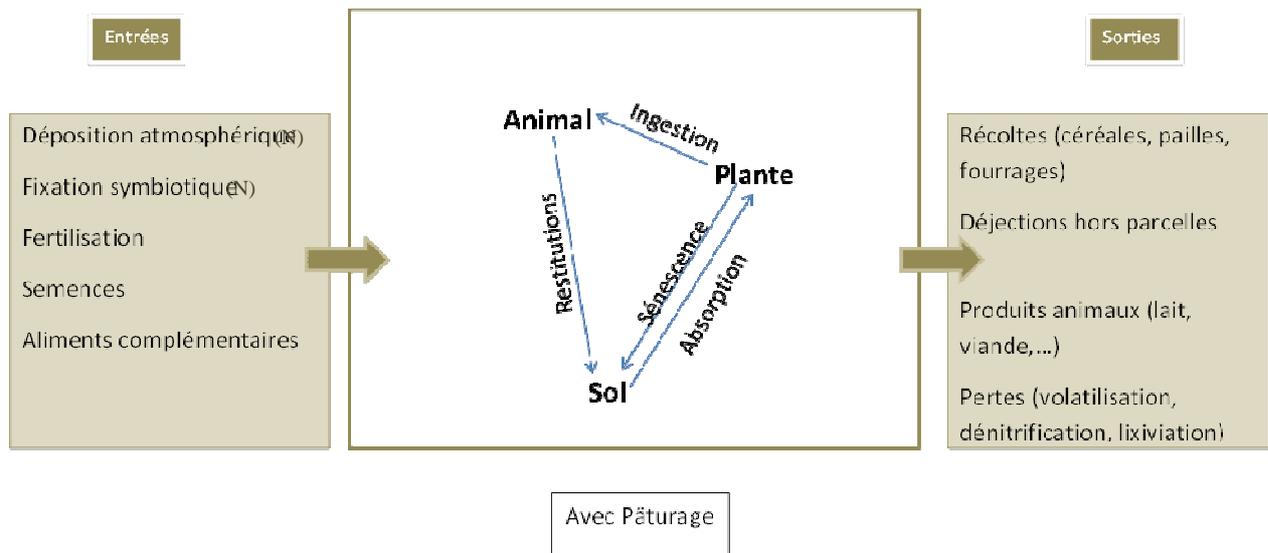


Figure 9 : Schéma bilan avec pâturage

Concernant les sorties du bilan, celles-ci sont représentées par les récoltes de fourrages, celles de produits des cultures annuelles et les produits liés aux animaux (poste non étudié durant ce stage) soit le lait, la croissance, la gestation et les déjections hors parcelles pâturées.

Le solde de ce bilan correspond en principe au stockage et aux émissions de ces éléments par le sol (lixiviation, dénitrification, et volatilisation dans le cas du pâturage)

b. Calcul des variables d'entrées et de sorties des bilans

Concernant les variables d'entrées :

Les entrées traitées dans cette étude sont constituées de la déposition atmosphérique d'azote, la fixation symbiotique d'azote, la fertilisation et les semences.

Pour ce qui est de la fixation symbiotique :

La quantification de l'entrée d'azote associée à la fixation symbiotique par les Légumineuses a été réalisée au moyen du modèle de Vertès. Ce modèle prend en compte la biomasse du couvert végétal, la proportion de légumineuses qu'il contient, sa teneur en N% et la proportion d'azote provenant de la fixation. En présence de trèfle blanc, pour tenir compte de la fraction d'azote des parties souterraines et des stolons, on y ajoute le facteur 1,3 (Vertès et al., 2010 ; Vertès, comm. pers.).

Ainsi, pour les légumineuses prairiales, les cultures de protéagineux associés à des céréales et les cultures intermédiaires, l'équation d'estimation de l'azote fixé est la suivante :

$$\text{Fixation} = \text{production (en t/MS/ha)} * \% \text{ lég} * N_{p1000} \text{ (kg N / t MS)} * \text{taux fixation}$$

Le taux de fixation varie de 65 à 85 selon le type de légumineuse.

Pour les valeurs de taux de légumineuses manquantes des « récoltes » et du pâturage celles-ci ont été attribuées à partir des moyennes des taux disponibles (annexe 5).

Quant au calcul de la biomasse pâturée, après plusieurs années d'analyse des conduites de pâturage sur le site de Mirecourt, on peut retenir une ingestion de 16kgMS par UGB de la mise à l'herbe jusque fin août et 18 kgMS de septembre à la fin du pâturage (y compris la complémentation)(Fiorelli, comm. pers.). La biomasse est donc calculée à partir des Journées de Pâturage UGB (JPUGB), multipliées par l'ingestion journalière de MS, dont sont déduites les quantités de complémentation distribuées. Bien entendu ce calcul minimise l'herbe offerte qui rendrait plus complètement compte de la fixation symbiotique, car on ne calcule que les quantités qui sont potentiellement ingérées par le troupeau, celles-ci étant toujours inférieures à l'herbe offerte. La somme des biomasses récoltées et pâturées permet de calculer une quantité totale d'herbe valorisée.

Pour le calcul de la fixation azotée liée aux CI, les données estimées de biomasse en tMS/ha ont été rapportés à la surface totale des parcelles présentant ce type de couvert. Puis comme pour les prairies, le modèle de Vertès a permis de quantifier l'azote total apporté aux parcelles. Pour le manque de donnée encore une fois il y a eu affectation de moyenne (annexe 5).

Pour les CI pâturées, les données de biomasses ont été récoltées avant le pâturage : donc on calcule la biomasse prélevée lors du pâturage avec la même méthode que pour le calcul de la biomasse prélevée sur les prairies. La biomasse restante après le pâturage et avant destruction est très faible car c'est la fin de la culture intermédiaire et les vaches ont aidé à la destruction.

Pour la déposition atmosphérique :

Les données sont de deux ordres, théorique issues du site EMEP et expérimentale issues de l'analyse de l'eau de pluie collectée sur le site de Mirecourt.

Concernant les données expérimentales propres à Mirecourt, il s'agit de données de concentration en azote (mg/L) rapportées à la pluviométrie (L/m²) afin d'obtenir des quantités d'azote en kg/ha déposées sur les parcelles ; elles portent sur la période de mai 2009 à mai 2012.

Les données EMEP ont été obtenues en localisant le site de Mirecourt au moyen de ses données GPS sur un maillage de la France de 50x50km. Les données obtenues sont celles des formes oxydées et réduites de l'azote, pour les années 2004 à 2010.

Les données expérimentales ne sont pas assez nombreuses pour permettre une comparaison pertinente avec les données EMEP (une seule année 2010 commune, et montre de surcroît une valeur aberrante). J'ai pris le parti de ne considérer que les données EMEP. Cependant pour les années manquantes (2011 et 2012) j'ai fait la moyenne des données de 2004 à 2010.

Pour la fertilisation :

Les données utilisées sont issues des analyses réalisées sur les produits épandus, j'ai donc pu récupérer pour chaque produit épandu et analysé une valeur de N, de P (à partir de P₂O₅ via le rapport $P = P_{2O5} \times 0.436$) et une valeur de K (à partir de K₂O via le rapport $K = K_{2O} \times 0.830$) ; toutes ces valeurs sont disponibles en g/kgMS et rapporté à la quantité totale épandue sur la parcelle afin d'obtenir une quantité totale d'élément entrée sur les parcelles *via* la fertilisation.

Pour les produits épandus mais non analysés, les valeurs sont complétées par une moyenne pondérée des données disponibles en conservant le même type de produit fertilisant (fumier de dépôt, purin...) ainsi que le même troupeau producteur quand cela était possible. A défaut, le troupeau producteur le plus ressemblant a été retenu.

Pour les épandages de tontes de pelouses et feuilles de 2005, les analyses sont issues de 1999 car ce sont les seules données disponibles pour ce type de produit.

Pour les semences :

Aucune analyse sur les semences n'est réalisée, plusieurs types de semences ont donc été distingués:

→ Les semences autoproduites, auxquelles ont été attribuées les analyses des mêmes produits récoltés lors de la campagne n-1 (car les semences autoproduites sont forcément issues de la campagne n-1)

→ Les semences certifiées et fermières, auxquelles ont été attribuées des valeurs issues des Tables, sauf pour les espèces non présentes dans les Tables ; ces produits-là ont bénéficié des analyses des récoltes du même produit, une moyenne pondérée de la campagne n-1.

→ Les semences des prairies semées et des cultures intermédiaires, le choix a été fait de prendre des valeurs « arbitraires » à partir des valeurs Tables des céréales et légumineuses qui se rapprochent le plus de l'espèce en question (annexe 5).

Concernant les variables de sorties :

Les sorties du bilan sont représentées par les récoltes aussi bien de fourrages que de cultures, des déjections hors parcelles et des « produits animaux » qui sont lait, gestation et croissance. Seules les données de récolte seront traitées dans cette partie.

Pour les récoltes grain et paille :

Les données utilisées sont issues des analyses réalisées sur les points de fertilité, toutes ces valeurs étant disponibles en g/kgMS et rapportées à la quantité totale récoltée sur la parcelle afin d'obtenir une quantité totale d'éléments sortie des parcelles.

Pour les récoltes sans analyses, les valeurs sont complétées par une moyenne pondérée des données disponibles pour chaque culture. Une moyenne de la même année de récolte pour les années de 2007 à 2012 et une moyenne des données de 2007 à 2012 pour les récoltes de 2005 et 2006.

Pour les récoltes de fourrages :

Un certain nombre d'analyses disponibles regroupent deux types d'échantillons : i) l'herbe prélevée lors du pâturage et ii) l'herbe prélevée lors de la fauche. Les valeurs qui nous intéressent se limitent à celles liées à la récolte car les éléments liés au pâturage sont considérés comme bouclés lors du pâturage via la restitution des déjections. Pour pallier cette difficulté une première étape d'identification des parcelles par année (donnant lieu à des parcelles-années) a été réalisée afin de savoir celles qui ont été juste récoltées, juste pâturées ou pâturées et récoltées avant de faire le lien avec les différentes analyses extraites de la base de données. En plus des analyses de fourrage récolté, il a aussi été récupéré les analyses des fourrages consommés afin d'obtenir davantage de données. Cependant ces dernières analyses permettent seulement de renseigner les valeurs d'azote à partir des valeurs de MAT ($N = MAT/6.25$).

Cette analyse des différents cas de figure des parcelles-années et des analyses de récoltes disponibles a produit un jeu de règles d'affectation des résultats d'analyses afin de fournir une valeur d'élément à chaque exportation constituée par les récoltes.

→ Pour la valeur de l'azote : Les analyses des produits consommés sont prises en compte. En effet ces données sont présentes dès 2005 et en nombre d'analyses plus conséquent que les valeurs issues des PF. De plus ces analyses sont issues des produits récoltés sur la totalité de la parcelle et sont donc plus représentatives des parcelles.

→ Pour les autres éléments, c'est-à-dire P et K, toutes les récoltes avec des analyses correspondant à des échantillons de récoltes seules se sont vu attribuer ces valeurs d'analyses. Pour les récoltes sans analyse de récoltes seules, différents choix ont été fait :

- Pour les luzernes : moyennes des analyses de récoltes seules ou avec une part de pâturage dans l'échantillon inférieure à 15 %. Cette extrapolation est possible car nous disposons d'une quantité importante d'analyses de récoltes seules. Les moyennes ont été réalisées en respectant le type de couvert ainsi que l'année de la luzerne.
- Pour les prairies permanentes et temporaires : nous ne disposons pas de valeurs de récoltes seules en nombre suffisant ; il n'a donc pas été possible de procéder de la même façon que pour les luzernes. Les données sont donc issues des valeurs d'analyses de « pâturage et récoltes » issues des PF, qui ont été mises en relation avec les données d'analyses de pâture seule pour une même parcelles-année (annexe 5).

V. Résultats

1) Description des conduites des parcelles du SPCE

a. Analyse des rotations

L'analyse des rotations au regard des rotations définies avant le passage en AB, a permis d'effectuer un classement des parcelles selon leur conformité à ces rotations-type (annexe 2). Cette conformité permet, pour chaque parcelle, d'établir l'année d'entrée dans la rotation-type et d'identifier celles qui ont actuellement achevé une première rotation. Ces parcelles avec une rotation conforme seront les seules étudiées dans l'analyse pluriannuelle des soldes d'éléments, soit un total de sept parcelles pour les parcelles 6H et 6P, cinq parcelles pour le 8P et aucune parcelle pour le 8H (figure 10).

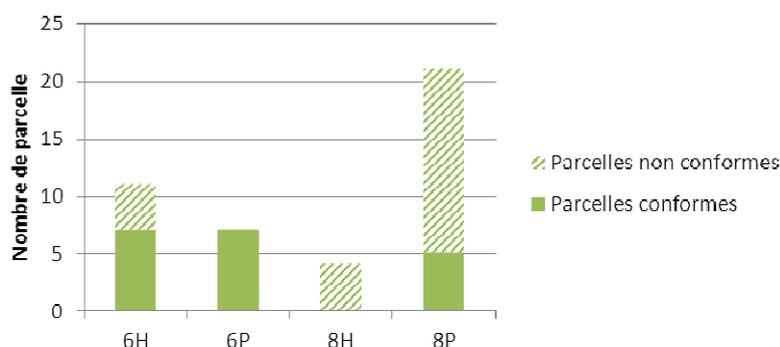


Figure 10 : Nombre de parcelle avec une rotation conforme à sa rotation type

Cette étude montre certains ajustements réalisés au cours des années, avec par exemple une quatrième année de prairie semée afin de rendre la surface en herbe plus en accord avec les besoins en alimentation (Justice L10-20-30 en 2008), l'ajout de culture intermédiaire d'hiver (Justice L10-20-30, Petite Fin 21-22-23-24) ou encore, à partir de la campagne 2011, la mise en place de mélanges céréale-protéagineux à 4 composantes à la place d'association.

La mise en place des systèmes de culture a réclamé le retournement de prairies permanentes pour augmenter la surface cultivée. C'est le cas par exemple des parcelles Moine 5 en 2005, Ravenel 12 en 2006, P Etang2 en 2007 et quatre autres parcelles. Pour la campagne 2010, une autre évolution du parcellaire s'est produite, sous la forme du transfert de deux parcelles (Joly 8-9 haut et Joly 8-9 bas) du SH au SPCE, afin de compenser "l'abandon" de trois autres parcelles de prairies permanentes (Joess, Pommiers et Terrain de foot).

Il y a donc eu une évolution non négligeable à la fois des SdC, mais également du parcellaire.

b. Gestion des prairies semées et du pâturage

Pour la gestion des prairies semées et, plus spécifiquement, des prairies de luzerne associée on constate une autre évolution. Depuis la campagne 2010, les parcelles des SdC 8H et 8P comportant des luzernes sont moins pâturées (figure 11) et davantage récoltées que les années précédentes (figure 12), en raison de la difficulté à contenir le risque de météorisation des animaux (due à la teneur élevée en azote de ce couvert). Par ailleurs, les cultures intermédiaires et les bords de parcelle sont parfois pâturés depuis 2010, dans un souci d'autonomie en fourrages, mais aussi pour mieux valoriser les cultures.

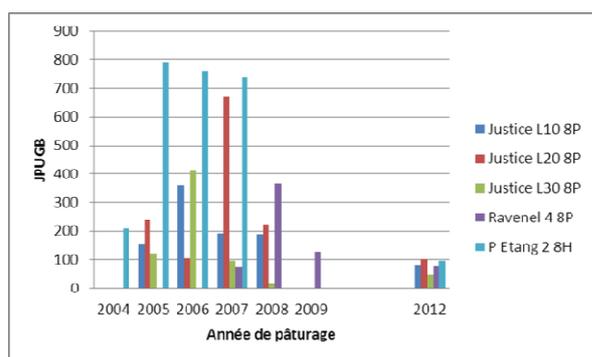


Figure 11 : Evolution du pâturage UGB

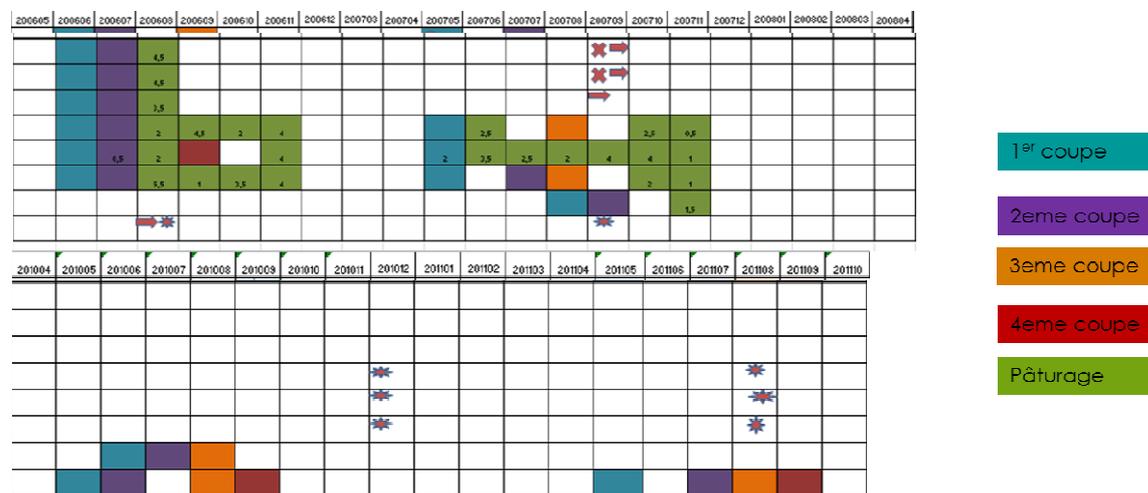


Figure 12 : Evolution du pâturage et des récoltes (extrait annexe 4)

c. Gestion de la fertilisation

Pour la fertilisation, bien qu'une règle de décision ait été mise en place, on observe une disparité notable entre systèmes de culture (figure 13). La règle définie est i) les deuxièmes blés ainsi que les PP fauchées au moins une fois dans l'année sont prioritaires et reçoivent un produit de type fumier, ii) s'il reste des produits, celui-ci est épandu sur les deuxièmes années de culture avec en priorité les rotations de 8ans. Sur la quantité totale épandue depuis 2005 sur

les différents systèmes de culture et les prairies permanentes, on peut constater que ces règles n'ont pas toujours été respectées. En effet, dans tous les systèmes, des céréales-protéagineux ont reçu des effluents de type fumier de raclage (6H, 8P), fumier composté (8P) ou fumier de dépôt (tous les systèmes).

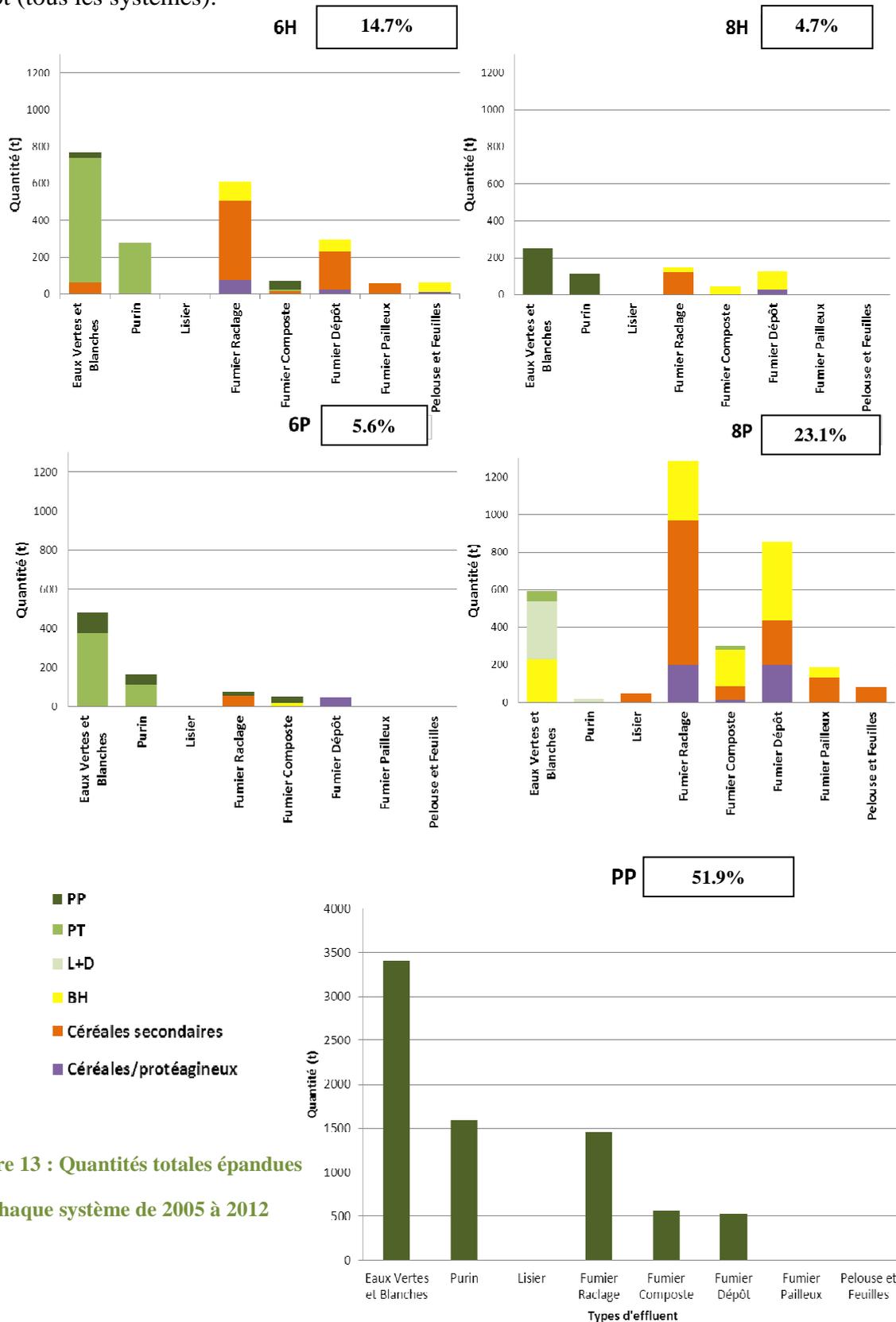


Figure 13 : Quantités totales épanchées sur chaque système de 2005 à 2012

De plus, on distingue une différence entre les systèmes de culture concernant les quantités totales épandues sur chaque couvert de 2005 à 2012. Certes les surfaces épandues ne sont pas les mêmes pour chaque système, mais les quantités permettent de rendre compte de l'inégalité qui existe entre les systèmes. Au niveau des différents produits épandus sur les couverts, dans les systèmes 8H et 6P les eaux vertes et blanches ne sont distribuées que sur les prairies tandis que pour 8P et 6H, elles le sont aussi sur des blés ou céréales secondaires. Le purin est quant à lui épandue dans tous les systèmes que sur des prairies ; le fumier de raclage est deux fois plus important que les eaux vertes et blanches dans le système 8P, pour les autres systèmes le fumier de raclage reste inférieur. Dans les premières années du système il y a eu des épandages de pelouse et feuilles qui ont eu lieu dans les systèmes 8P (81tMB) et 6H (64tMB), mais sur des couverts différents, blé et céréales-protéagineux pour 6H tandis que sur céréales secondaire pour le 8P. Le fumier pailleux se retrouve encore une fois que sur 8P et 6H avec un couvert commun (céréales secondaires) mais à quantités différentes 59tMB pour le 6H et 188tMB pour le 8P. Le fumier de dépôt se retrouve sur des céréales-protéagineux dans les quatre systèmes, sur du blé dans trois systèmes et sur des céréales secondaire pour le 6H et le 8P. Le fumier composté est présent dans les quatre systèmes, sur tous types de couvert, mais avec une majorité sur du blé pour trois systèmes.

Dans tous les systèmes et les prairies permanentes, si on ne considère que les fumiers, le fumier de raclage constitue les quantités épandues les plus importantes, ensuite le fumier de dépôt, excepté pour les PP qui ont une quantité plus importante en fumier composté, sinon fumier composté valeurs faibles épandu sur blés majoritairement dans systèmes 8ans, sinon pour 6ans sur prairies. Pour les PP, bien qu'elles soient dans les prioritaires pour le fumier, les quantités distribuées en eaux et purin (5002tMB) restent importantes et supérieures aux fumiers (2549tMB). Au niveau du total épandue, les PP reçoivent le plus grand pourcentage avec 51.9% mais une majorité d'eaux, ensuite 8P avec 23.1% et 6H avec 14.7%, 8H et 6P sont proche avec respectivement 4.7 et 5.6%.

Concernant l'évolution des produits et des quantités (figure 14), les variations de tonnage des produits liquides semblent relier aux épisodes de précipitations abondantes qui remplissent une première fosse des eaux vertes et blanches et percolent dans une autre fosse où est stocké le fumier pour produire du Purin (années 2006-07, 2007-08 et 2011-12). Côté solides, à partir de 2006, la variabilité interannuelle globale diminue pour retrouver une valeur "raisonnable". Concernant le fumier de raclage, celui-ci a présenté une quantité épandue stabilisée de 2006 à 2012. Le fumier pailleux n'est plus épandu en tant que tel à partir de 2009 et a été remplacé

par l'épandage de fumier de dépôt et de fumier composté, qui présentent ensemble de faibles quantités épandues en 2009 et 2010.

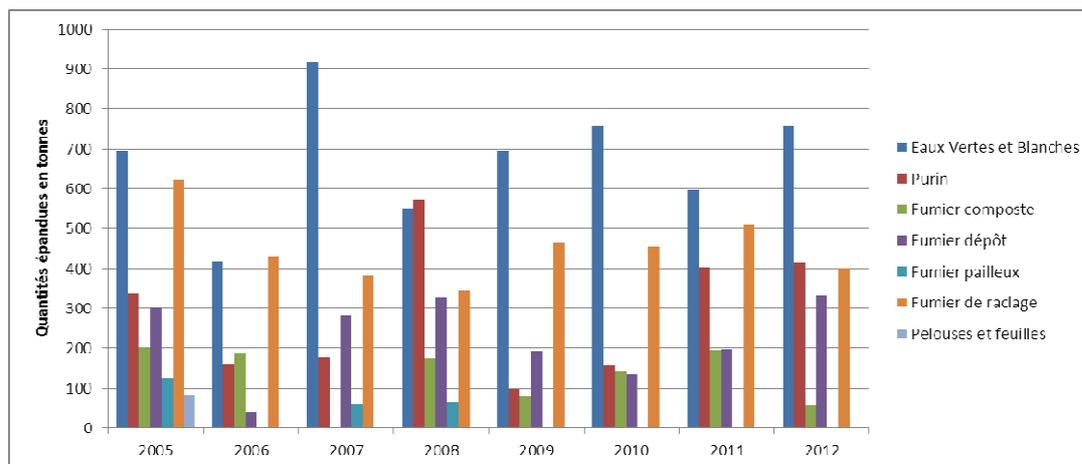


Figure 14 : Evolution des produits et quantités épandues (Fiorelli)

2) Soldes annuels, étude de 2012

a. Le cas de l'azote

i) Les parcelles cultivées (figure 15)

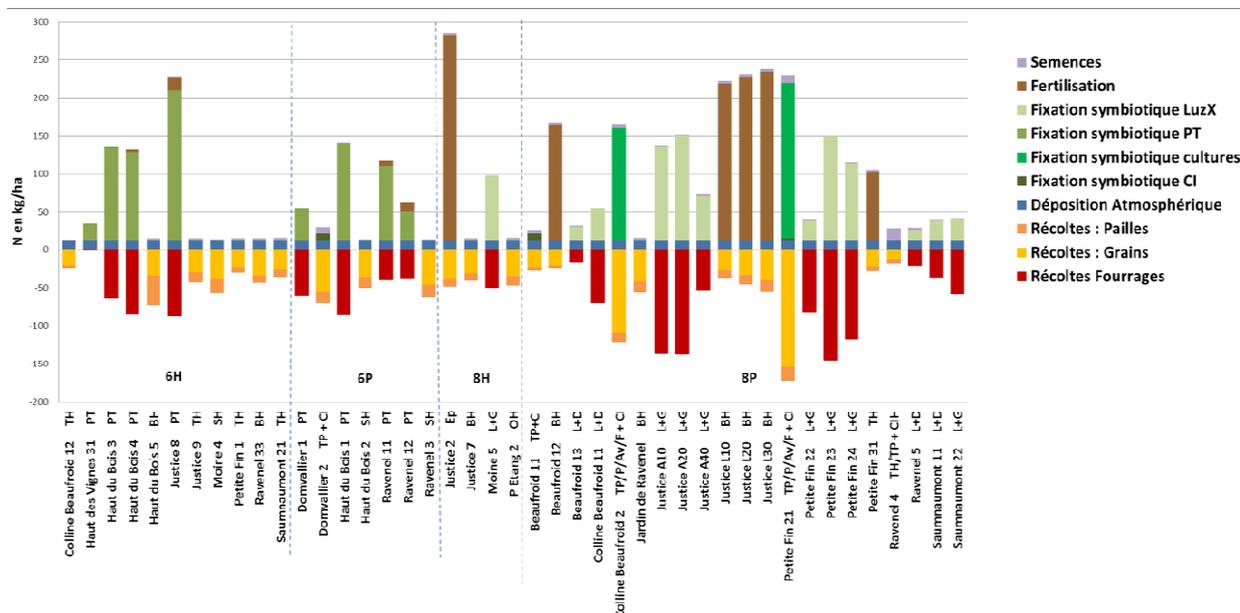


Figure 15 : Entrées et récoltes annuelles des SdC pour l'élément N

Les entrées pour les quatre SdC sont variées et proviennent de la déposition atmosphérique, de la fixation symbiotique des CI, des cultures et des prairies semées, de la fertilisation et des semences. L'importance de ces différents postes est très disparate.

La déposition atmosphérique (13kgN/ha) représente une entrée faible par rapport aux autres postes tels que la fixation symbiotique et la fertilisation. Il est tout de même supérieur au poste des semences qui ne représente que 3kgN/ha en moyenne, avec pour entrées les plus importantes les cultures de céréales/protéagineux avec CI et les triticales de printemps avec CI. La valeur la plus élevée a été de 16kgN/ha, mais est liée au ressemis exceptionnel de certaines parcelles.

Au niveau de la fixation symbiotique, on constate une différence suivant les types de couvert : en effet pour les cultures intermédiaires, la moyenne d'azote fixé est de seulement 7kgN /ha, alors que pour les cultures principales elle ressort à 175kgN/ha ; les prairies semées ont fixé 96kgN/ha pour les PT et 67kgN/ha pour les luzernes, tous âges confondus. Ces différences engendrent de fortes variations au sein des systèmes pour une année donnée, selon le nombre de parcelles en prairie et les termes représentés des rotations-type : en effet le système 8H qui comporte des cultures de céréales-protéagineux, des CI et des luzernes associées présente pour 2012 une moyenne de 72kgN/ha fixé, tandis que le système 8H ressort à 85kg/ha(une seule parcelle avec une culture fixatrice d'azote),le système 6P à 64kgN/ha et le système 6H à 115kgN/ha.

En ce qui concerne la fertilisation, les apports les plus faibles concernent les PT (9kgN/ha en moyenne) alors que les céréales (blé et céréales secondaires) ressortent à 193 kgN/ha. Ceci semble en accord avec la règle de décision établie pour les épandages, qui consiste à affecter les fumiers (dépôt et raclage) aux céréales et aux prairies permanentes fauchées au moins une fois, tandis que les eaux blanches et vertes peuvent être dirigées vers les prairies temporaires.

Au niveau des récoltes, dans le système 6H, les PT représentent en moyenne une exportation de 59kgN/ha et les cultures de 52 kgN/ha ; dans le système 6P, les récoltes de PT représentent une exportation de 56kgN/ha en moyenne et les cultures de 82kgN/ha, tandis que pour le système 8H la seule récolte de Luzerne associée a donné lieu à 50kgN/ha et la moyenne des cultures à 45kgN/ha et pour le 8P la moyenne des récoltes des cultures est de 59kgN/ha et de 79kgN/ha pour les Luzernes associées. Dans tous les systèmes la répartition des sorties *via* les grains et les pailles est du même ordre de grandeur avec une quantité nettement plus importante pour les grains (40kgN/ha en moyenne) que pour les pailles (12kgN/ha en moyenne). On a donc des exportations du même ordre de grandeur pour système 6H, 6P et 8H pour les récoltes de prairies semées avec environ 60kg/ha; 8P quant à elle possède une moyenne plus élevée de l'ordre de 80kg/ha.

Pour les soldes de 2012 (annexe 6), on constate que les PT apparaissent généralement positives (variant de 24kgN/ha à 141kgN/ha), tandis que les cultures montrent un solde négatif ou positif dans le cas où elles ont reçu un apport de fertilisant (comme le cas de la parcelle Justice 2 en 8H, Justice L10-20-30) ou que la fixation azotée a été importante grâce aux protéagineux (Petite Fin 21 et Colline Beaufroid 2).

ii) Les prairies permanentes (figure 16)

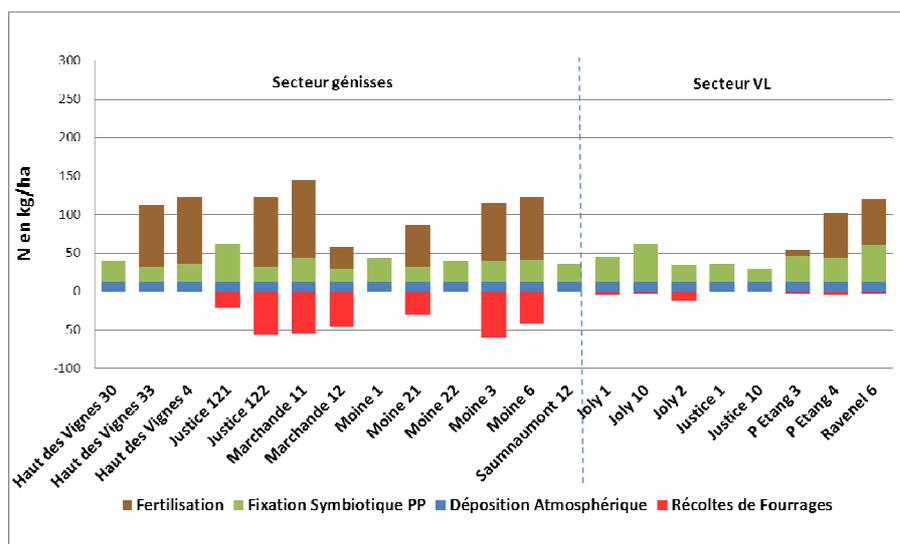


Figure 16 : Entrées et récoltes annuelles des PP pour l'élément N

Les entrées *via* la fixation symbiotique sont du même ordre pour les deux secteurs avec une moyenne de 32kgN/ha pour le secteur des VL et 26kgN/ha pour le secteur des génisses. La différence entre les deux secteurs se voit surtout au niveau de la fertilisation avec un secteur des VL moins abondamment épandu que le secteur des génisses, les moyennes étant respectivement de 42kgN/ha et 75kgN/ha.

La moyenne des exportations d'azote est de 24kgN/ha soit une quantité moindre que pour les PT : ceci s'explique vraisemblablement par la place plus importante du pâturage dans les PP : Si on compare les deux secteurs vaches laitières (VL) et génisses, on relève une grande différence d'exportation, entre 6kgN/ha récolté en moyenne dans le secteur des VL et 44kgN/ha pour l'autre secteur.

A ce stade, l'ensemble des parcelles en prairies permanentes montre un solde positif variant de 19kgN/ha à 122kgN/ha (annexe 6).

b. Le cas du phosphore

i) Les parcelles cultivées (figure 17)

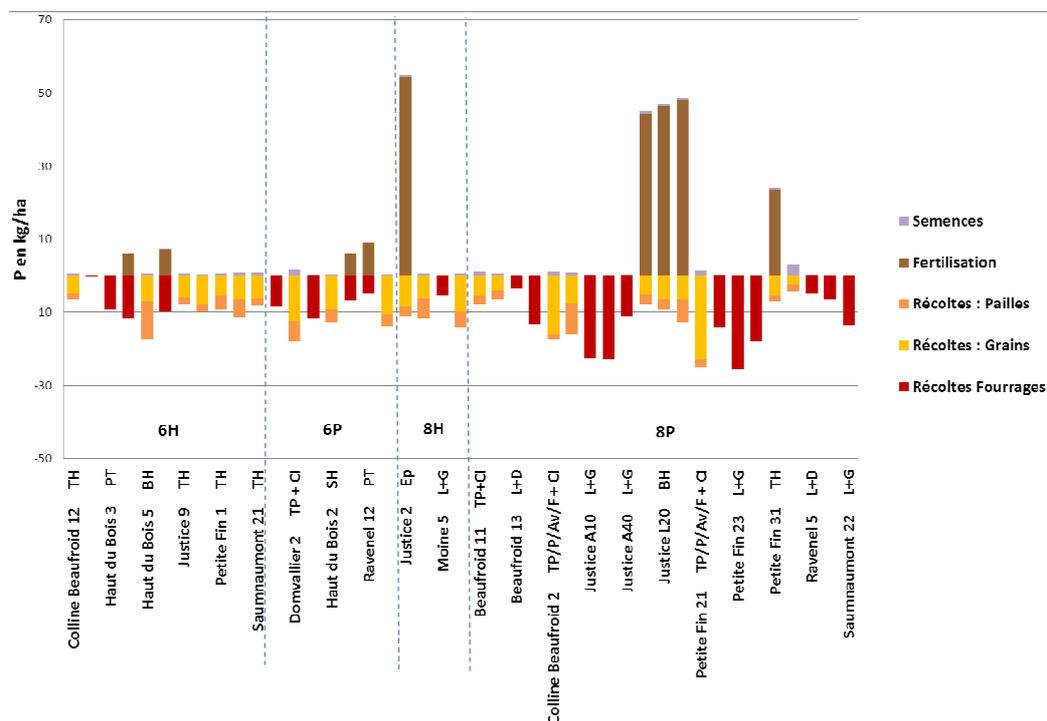


Figure 17 : Entrées et récoltes annuelles des SdC pour l'élément P

Les postes d'entrées considérés pour le phosphore sont les semences et la fertilisation. La répartition de ces deux postes au sein des systèmes pour une année donnée est très différente selon le couvert en place. Pour l'année 2012, le poste fertilisation est le plus important, notamment dans les systèmes 8P (40 kgP/ha en moyenne) et 8H (un seul épandage de 54kgP/ha). Si on détaille la fertilisation, on constate que les plus grandes quantités épandues ont eu lieu sur les blés d'hiver et sur les céréales secondaires (43 kgP/ha en moyenne), les prairies permanentes (38kgP/ha en moyenne), tandis que les plus faibles quantités l'ont été sur les prairies temporaires (7kgP/ha en moyenne) et quelques prairies permanentes. Ces résultats sont en accord avec la règle de décision rappelée précédemment. En ce qui concerne les semences, les quantités n'excèdent pas 3kgP/ha, avec pour valeurs les plus élevées, les semis de mélange céréales-protéagineux en plus d'une culture intermédiaire, et les semis d'un triticale avec une culture intermédiaire.

Concernant les sorties *via* les récoltes, dans tous les systèmes, les récoltes liées aux cultures montrent une exportation de 12kgP/ha en moyenne, à égalité avec les prairies semées. En considérant les systèmes, on constate des différences au niveau des récoltes de PT et Luzerne associée : en effet les systèmes 6P et 8H sont respectivement à 8 et 5kgP/ha tandis que les

systèmes 6H et 8P sont à 11 et 14kgP/ha (les récoltes de culture s'établissant de 11kgP/ha en 6H à 15kgP/ha en 6P). Les sorties en PT et Luzerne associée sont légèrement plus importantes dans le système 8P par rapport aux autres systèmes, malgré des valeurs faibles en 8P qui sont notamment dues au gel de l'hiver 2011/2012 qui n'a pas été favorable aux luzernes de troisième année.

Au niveau de la répartition entre grains et paille, les grains exportent davantage (8kgP/ha en moyenne) que la paille (4kgP/ha en moyenne).

Au niveau des soldes de 2012 (annexe 7), ceux-ci sont pratiquement tous négatifs pour toutes les parcelles des systèmes de cultures et varient de -25kgP/ha à 44kgP/ha (seulement 6 parcelles sur 40 sont positives).

ii) Les prairies permanentes (figure 18)

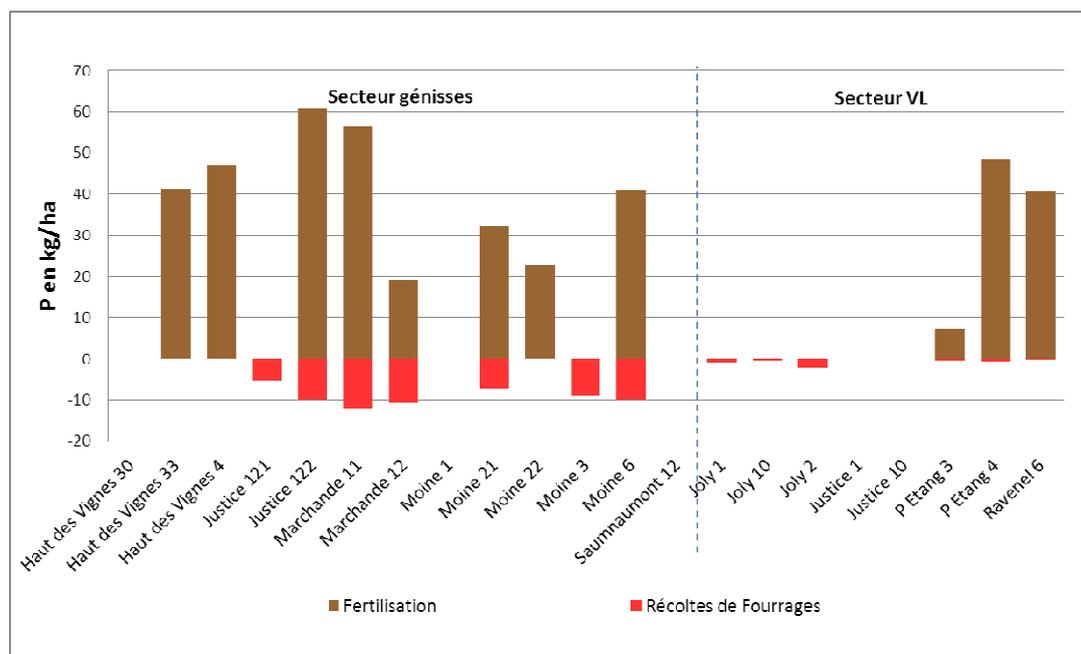


Figure 18 : Entrées et récoltes annuelles des PP pour l'élément P

La fertilisation est la seule entrée au niveau des prairies permanentes celle-ci est plus importante dans le secteur des génisses avec une moyenne de 40kg/ha soit 8 parcelles sur 16 tandis que l'autre secteur est à 32kg/ha soit 3 parcelles sur 12.

Les sorties *via* les récoltes sont plus importantes dans le secteur des génisses avec en moyenne 9kgP/ha alors que le secteur des VL est à seulement 1kgP/ha.

Le solde (annexe 7) est majoritairement positif avec seulement 7 parcelles négatives sur 23 et la moyenne des soldes négatifs est de -3kgP/ha, celui des positifs est de 33kgP/ha.

c. Le cas du potassium

i) Les parcelles cultivées (figure 19)

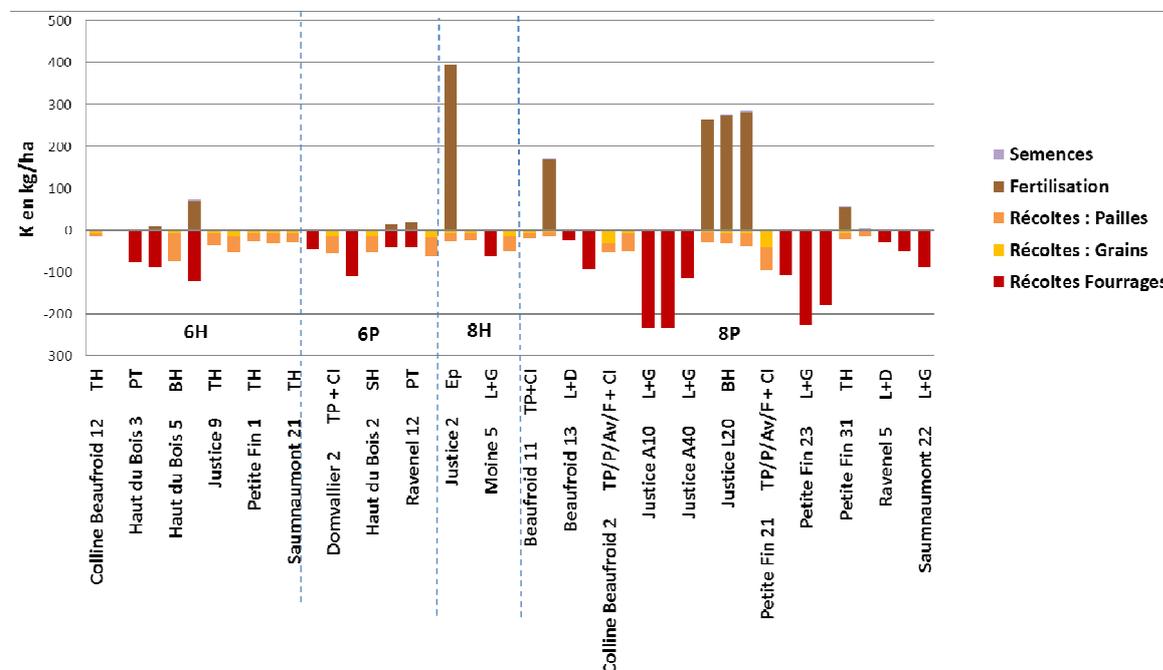


Figure 19 : Entrées et récoltes annuelles des SdC pour l'élément K

Les postes d'entrées sont uniquement représentés par les semences et la fertilisation. On constate des différences pour le poste fertilisation avec des quantités de potassium plus importantes épandues sur les blés et céréales secondaires (en moyenne 240kgK/ha), suivies des PP (en moyenne 81kgK/ha) et enfin les PT (en moyenne 27kgK/ha), ce qui est en accord avec la règle de décision déjà évoquée. Concernant les semences, celles-ci représentent des entrées qui n'excèdent pas 4kgK/ha avec les valeurs les plus élevées qui correspondent aux semis de mélanges céréales-protéagineux avec une culture intermédiaire et aux semis de triticales avec une culture intermédiaire.

Concernant les récoltes, les exportations tous systèmes confondus sont plus importantes au niveau des prairies semées (moyenne de 98kgK/ha) que pour les exportations liées aux cultures (moyenne de 40kgK/ha). On constate aussi une différence entre les systèmes : pour 2012, les exportations *via* les récoltes de prairies semées sont en moyenne de 72kgK/ha pour 6H, 59kg/ha pour 6P, 61kg/ha pour 8H et 125 kg/ha pour 8P. Soit une sortie moyenne plus élevée pour le système 8P qui s'explique par des récoltes de luzerne plus importantes que dans les prairies temporaires. Le taux de pâturage de ces dernières est en effet plus important

que dans les parcelles de Luzerne. Une différence qui n'est pas notée au niveau des récoltes de culture puisque les moyennes respectives des systèmes 6H, 6P, 8H et 8P sont de 38, 56, 34 et 37 kgK/ha, seul le système 6P s'écarte du lot avec une valeur supérieure aux autres.

Au niveau des exportations grains et paille, on constate une sortie en paille (29kgK/ha en moyenne) plus importante que celle des grains (11kgK/ha en moyenne).

Les soldes annuels (annexe 8) des cultures sont tous négatifs excepté les quatre parcelles avec des fertilisations et sont donc à une moyenne de 213kgK/ha, la moyenne des négatives est de -70kgP/ha.

ii) Les prairies permanentes (figure 20)

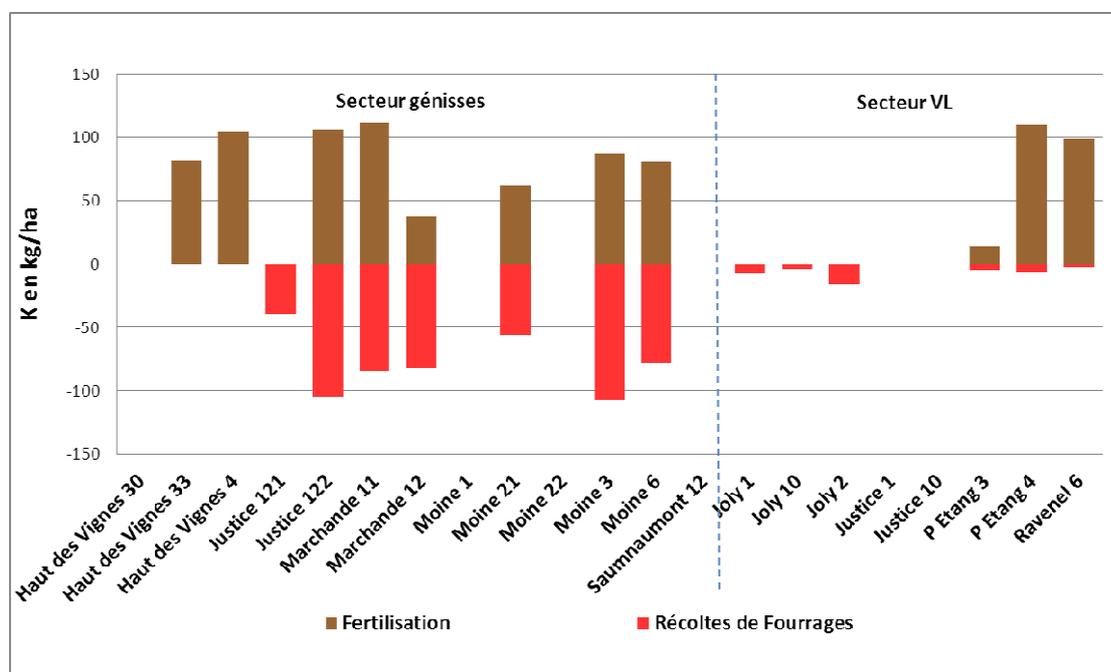


Figure 20 : Entrées et récoltes annuelles des PP pour l'élément K

Au niveau de la fertilisation, une distinction est possible entre les deux secteurs avec une moyenne de 74kgK/ha épanchée sur le secteur des VL et 84kgK/ha sur l'autre secteur, le nombre de parcelles épanchées est plus important aussi pour le secteur des génisses avec 8 parcelles sur 16 tandis que le secteur des VL 3 parcelles épanchées sur 12. Les récoltes sont plus importantes dans le secteur des génisses avec une moyenne de 79kgK/ha, tandis que le secteur des VL est à 8kgK/ha.

Le solde (annexe 8) est majoritairement positif avec 8 parcelles sur 23 seulement négatives, la moyenne des soldes positifs est de 48kgK/ha et celui des parcelles négatives est de -20kgP/ha.

3) Soldes pluri-annuelles, étude à l'échelle des rotations

Pour les parcelles assolées, les données considérées dans les tableaux et les graphiques ci-après ne concernent que les parcelles conformes aux rotations-types. Ce sont donc 19 parcelles qui sont ici présentées (5 pour le SdC 8P, 7 pour le 6H et 7 également pour le 6P). S'agissant des prairies permanentes, les deux secteurs (accessible aux VL et non accessible) sont distingués.

a. Le cas de l'azote

i) Les parcelles cultivées (figure 21)

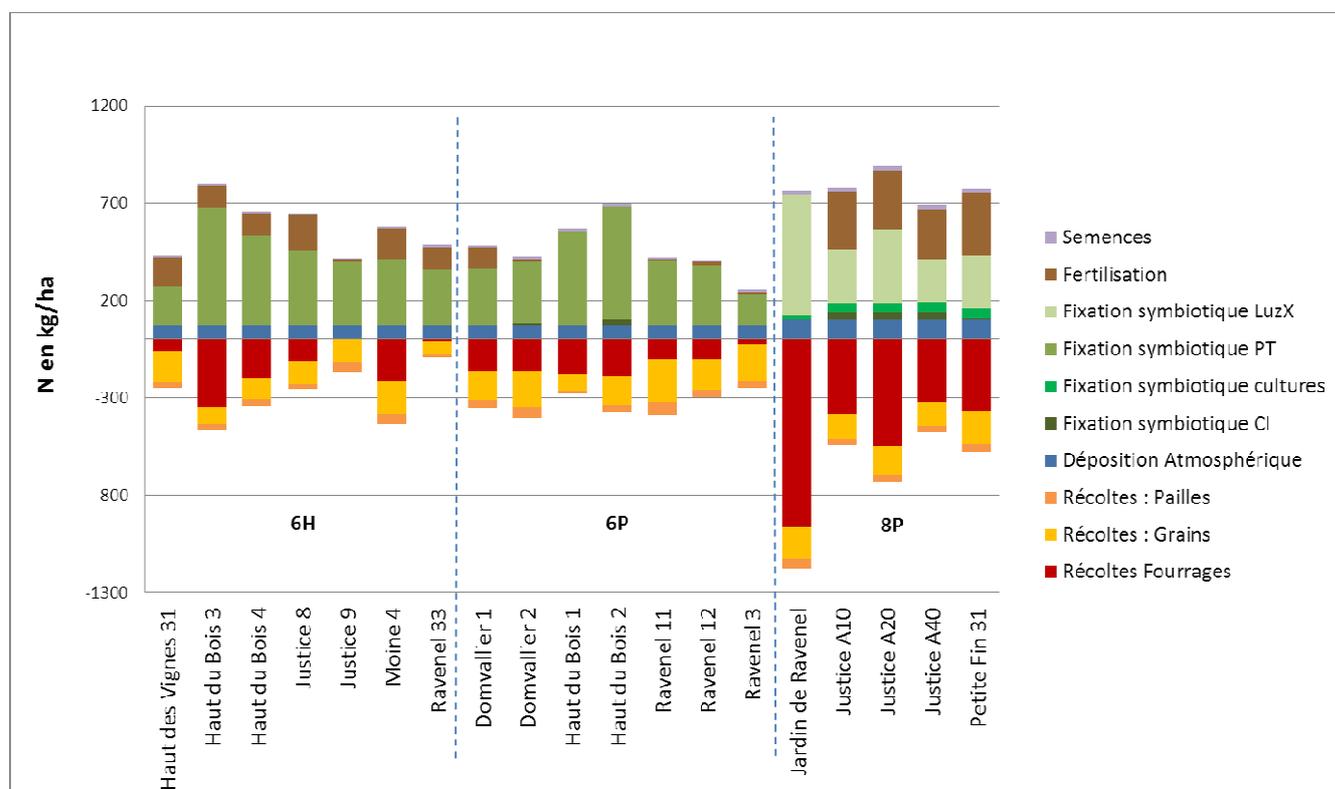


Figure 21 : Entrées et récoltes pluriannuelles des SdC pour l'élément N

Si on détaille les postes d'entrées, le plus important est la fixation symbiotique qui résulte des légumineuses des prairies semées dans les 3 rotations, mais aussi des mélanges céréales-protéagineux (8P) et des couverts intermédiaires (6P et 8P). Pour le SdC 8P, et à moindre degré pour le 6H, la fertilisation est le second poste d'entrée. La déposition atmosphérique présente une valeur égale dans tous les systèmes, les semences représentant une très faible valeur d'entrée. La parcelle Jardin de Ravenel se trouve hors zone d'épandage et ne bénéficie donc pas d'entrée au titre de la fertilisation ; pour autant, le total des entrées d'azote ne se distingue pas de celui des autres parcelles.

Pour les récoltes, le système de culture 8P présente un plus fort niveau, lié à une rotation plus longue de deux années de culture supplémentaires. La parcelle Jardin de Ravenel se distingue une nouvelle fois avec un niveau de récolte très supérieur aux autres parcelles. Les sorties sous forme de grains sont très supérieures aux sorties paille avec une moyenne respective de 142kg/ha et 38kg/ha tous systèmes confondus.

A l'échelle de la rotation, en rapportant les récoltes aux entrées, on constate un solde positif (annexe 9) pour toutes les parcelles qui varie de 24kgN/ha à 395kgN/ha, excepté pour l'une d'entre elles (Jardin de Ravenel).

ii) Les prairies permanentes (figure 22)

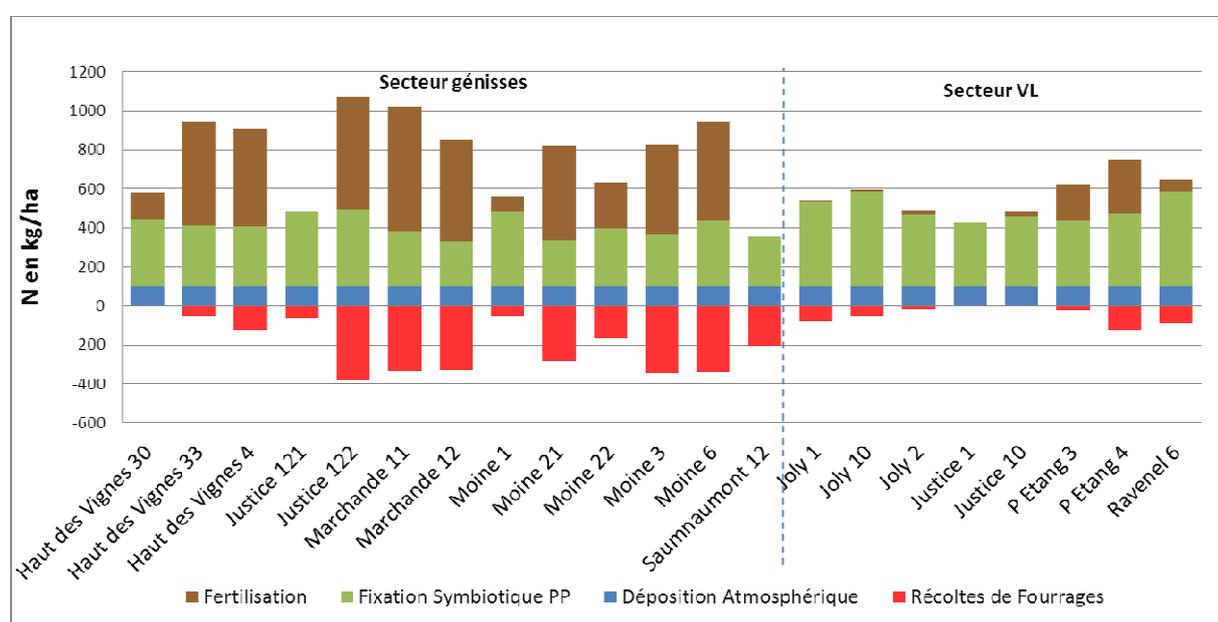


Figure 22 : Entrées et récoltes pluriannuelles des PP pour l'élément N

Les postes d'entrées des PP sont de trois ordres, i) déposition atmosphérique, ii) fixation symbiotique et iii) fertilisation : dans le secteur des VL, les parcelles montrent le plus souvent des valeurs d'entrées inférieures à celles de l'autre secteur, ce qui s'explique par une fertilisation plus faible avec une moyenne de 84kgN/ha et de 388 kgN/ha dans l'autre secteur (en ne considérant que les parcelles épandues).

Concernant les récoltes, les deux secteurs se distinguent, celui des génisses étant davantage récolté avec en moyenne 224kgN/ha exportés et seulement 43kg/ha dans le secteur des VL (sans considérer les parcelles non récoltées). Au final le solde ressort à 440kgN/ha pour le secteur des VL et 561kgN/ha pour celui des génisses (en excluant les 3 parcelles hors zone d'épandage qui ne sont d'ailleurs présentes que durant les 5 premières années).

Toutes les parcelles possèdent un solde positif à l'échelle des huit campagnes (annexe 9).

b. Le cas du phosphore

Les entrées se résument aux semences et à la fertilisation avec le même constat que pour l'azote, les semences représentent des valeurs d'entrée très faibles.

i) Les parcelles cultivées (figure 23)

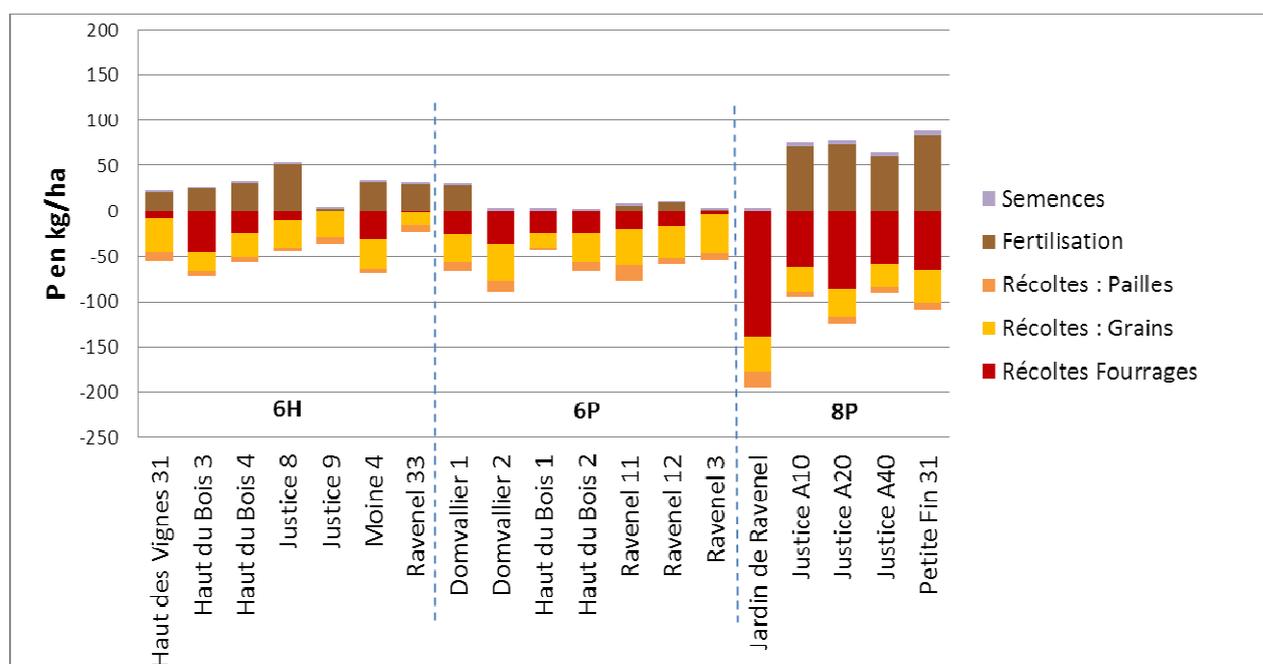


Figure 23 : Entrées et récoltes pluriannuelles des SdC pour l'élément P

Au niveau des entrées, le système 8P est le plus fertilisé (moyenne de 72kg/ha) excepté la parcelle Jardin de Ravenel qui est hors zone d'épandage. Il y a aussi une différence entre 6H et 6P, avec des apports moindres en 6P (maximum 9kgP/ha) par rapport à 6H (plus de 20kgP/ha excepté la parcelle Justice 9 avec 3kgP/ha).

Au niveau des récoltes, le système 8P présente des quantités récoltées plus importantes que les systèmes 6H et 6P avec en moyenne une exportation de 123kgP/ha. 6H ne dépasse globalement pas les 50kgP/ha alors que 6P est à 65kgP/ha en moyenne. Les sorties *via* les grains sont supérieures aux sorties pailles (31kgP/ha contre 8kgP/ha en moyenne tous systèmes confondus). La parcelle Jardin de Ravenel est la parcelle avec la plus grande quantité récoltée.

Les soldes au niveau de la rotation (annexe 10) sont tous négatifs excepté pour deux parcelles du 6H (Moine 4 et Ravenel 33) : ils vont de - 191 kgP/ha à -19kgP/ha avec un déficit moyen de 51kgP/ha. La parcelle Jardin de Ravenel se démarque en étant la parcelle la plus déficitaire

(-191kgP/ha), les autres déficits culminant à 86kgP/ha. Le système 8P est globalement moins déficitaire avec une moyenne de -28kgP/ha (sans prendre en compte Jardin de Ravenel) qui s'explique par des entrées supérieures aux récoltes même si ces dernières restent élevées. Pour 6H, le déficit moyen est de -33kg/ha et 6P -56kg/ha : en effet comme on l'a vu précédemment les entrées du 6P sont très faibles et les récoltes supérieures à celles du 6H.

ii) Les prairies permanentes (figure 24)

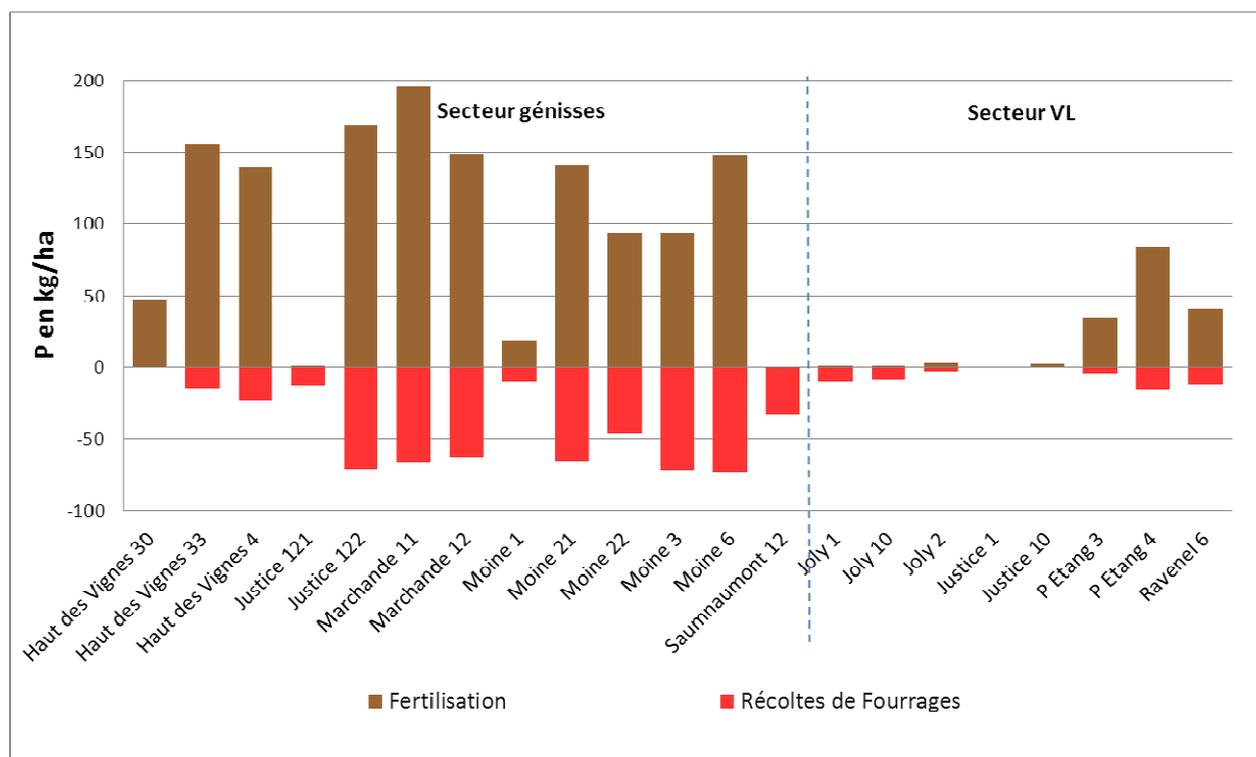


Figure 24 : Entrées et récoltes pluriannuelles des PP pour l'élément P

Dans le secteur VL, les entrées *via* la fertilisation sont plus faible (moyenne de 33kgP/ha) que pour l'autre secteur (moyenne de 113kgP/ha). De même on retrouve une différence entre ces deux secteurs au niveau des récoltes avec pour le secteur VL une sortie de 9kgP/ha tandis que l'autre secteur possède une moyenne de 46kgP/ha.

Les soldes (annexe 10) sont différents de ceux des SdC : en effet, 4 parcelles sur 21 ont un solde négatif, 2 parcelles un solde nul et 15 un solde positif. Le secteur des VL présente des valeurs de bilan moins dispersées (moyenne des valeurs positives à 33kgP/ha et moyenne des valeurs négatives -10kgP/ha) que le secteur des génisses (moyenne des valeurs positives de 77kgP/ha et moyenne des valeurs négatives -23kgP/ha).

c. Le cas du potassium

i) Les parcelles cultivées (figure 25)

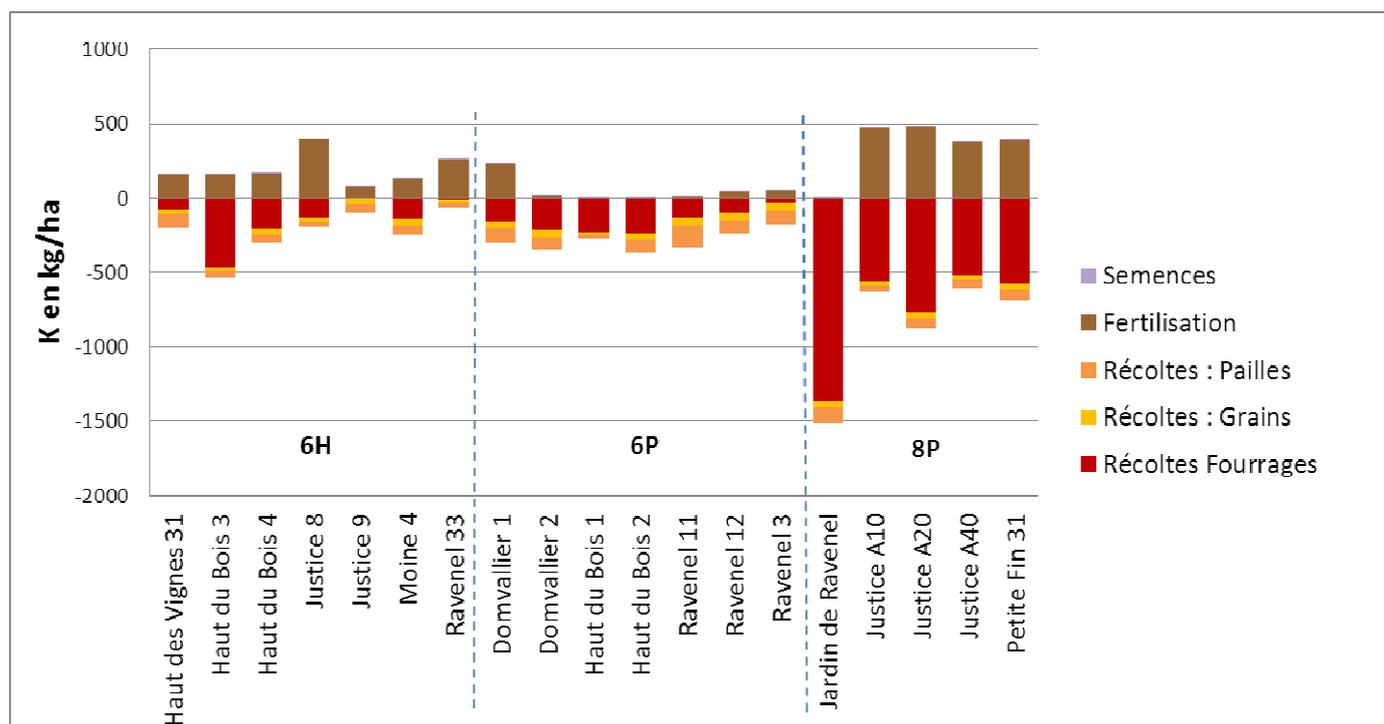


Figure 25 : Entrées et sorties pluriannuelle des SdC pour l'élément K

Pour le potassium, seulement deux entrées, les semences et la fertilisation, sont recensées avec une distinction possible entre les systèmes. Le système 6P est peu épandu avec maximum 50kgK/ha apporté (excepté pour la parcelle Domvallier 1 qui dispose d'un apport de plus de 200kgK/ha). Pour le système 8P, aucun épandage pour la parcelle Jardin de Ravenel, Sinon, le système a une valeur d'entrée d'environ 430kg/ha (sans comptabiliser Jardin de Ravenel). Pour le système 6H la moyenne des entrées est de 196kgK/ha avec une variabilité entre parcelles plus importante que pour les autres systèmes puisque les entrées vont de 82kg/ha à 401kg/ha.

Au niveau des récoltes, le système 8P est plus exportateur, avec la parcelle Jardin de Ravenel qui s'écarte du lot avec environ 1400kgK/ha exportés et les autres parcelles environ 700kg/ha. Une plus grande variabilité entre les systèmes en 8ans et 6ans est présente pour cet élément avec une moyenne en 6H de 236kg/ha, soit environ égale au système 6P qui possède une moyenne de 291kg/ha. A la différence des deux autres éléments, le potassium montre des sorties *via* les pailles plus importantes que les sorties en grains avec une moyenne tous systèmes confondus de 72 kgK/ha exporté par les pailles et 37kg/ha pour les grains.

Les soldes au niveau de la rotation (annexe 11) sont tous négatifs excepté 2 parcelles (Justice 8 et Ravenel 33) tous deux en 6H. Ces soldes négatifs vont de -1510 kgK/ha à -22kgK/ha avec un déficit moyen de -291kgK/ha. Comme pour l'azote et le phosphore, la parcelle Jardin de Ravenel se démarque en étant la parcelle la plus déficitaire avec -1510 kgK/ha, le déficit le plus important sans cette parcelle étant de -390kg/ha.

ii) Les prairies permanentes (figure 26)

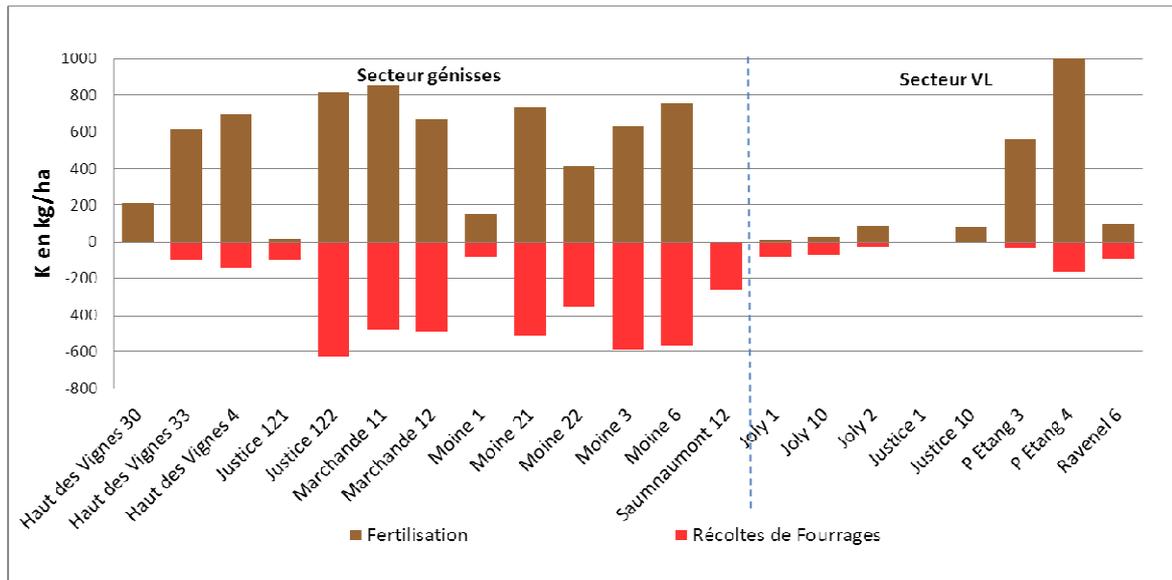


Figure 26 : Entrées et récoltes pluriannuelles des PP pour l'élément K

Dans le secteur VL les entrées *via* la fixation sont plus faibles (272kgK/ha) que pour l'autre secteur (545kgK/ha). Il en est de même pour les récoltes, avec le secteur VL qui exporte moins (78kgK/ha) que l'autre secteur (359kgK/ha).

Seulement 4 parcelles sur 21 présentent un solde négatif. Les parcelles négatives en K sont les mêmes que celles négatives en P. Le secteur VL présente des soldes positifs d'une moyenne de 310kgK/ha et négatifs d'une moyenne de -60kgK/ha, tandis que l'autre secteur possède des valeurs positives d'une moyenne de 235kgK/ha et négatives de -174kgK/ha en moyenne.

VI. Discussion

1) Evolution du système

Un point important réside dans le fait que le système étudié est évolutif. Il confère aux situations étudiées une variabilité qui rend leur évaluation plus difficile : au-delà de l'évolution du parcellaire, l'entrée progressive de quelques parcelles dans les nouveaux systèmes de culture diffère la possibilité d'en analyser les successions culturales au regard de leur conformité aux rotations types. En effet, cette progressivité limite la représentation des différents termes de ces rotations au sein des assolements annuels. La nécessité d'attendre une à deux années supplémentaires expose le dispositif à d'autres évolutions et donc à de nouveaux risques de non-conformité des successions culturales.

Cette difficulté, propre au principe de conception pas à pas (Coquil *et al.*, 2011), est assumée au sein de l'expérimentation-système de même que l'enchaînement d'années climatiques différentes réclame des ajustements qui rendent les situations considérées plus délicates à comparer. Les conduites de pâturage, la gestion des épandages d'effluents sont directement concernées par ces circonstances évolutives. Cette variabilité participe pleinement du niveau d'évaluation systémique qui vise à rendre compte des cohérences réalisées, quitte à identifier certaines dérives propre aux principes retenus, par exemple quant à l'objectif annoncé d'entretien de la fertilité des parcelles. A ce titre, une analyse plus approfondie de chaque parcelle est à resituer au regard d'une évaluation plus globale du système.

Même si l'évolution semble avoir été plus marquée lors des premières années, il y a actuellement toujours des évolutions dans les systèmes de culture comme le remplacement des associations culturales par des mélanges plus complexes (luzerne-graminées et céréales-protéagineux) ou l'apparition de couverts intermédiaires avant une culture d'hiver.

2) Retour sur les soldes

a. Retour sur la méthode

Des biais plus ou moins conséquents ont été engendrés par les méthodes de calcul et les conventions que nous avons retenues. Ces biais sont de plusieurs ordres :

- Extrapolations dues au manque de données :
 - extrapolation des moyennes calculées de 2007 à 2012 aux années complètes 2005 et 2006,
 - extrapolation des moyennes annuelles au sein des années avec valeurs, du fait de l'absence de PF dans un certain nombre de parcelles.

SdC	6H	6P	8H	8P	PP
nbre de parcelle	11	7	4	21	23
nbre de PF	12	8	4	18	14
nbre de parcelle avec 2PF	1	1	0	3	0

- extrapolation des analyses réalisées sur les PF aux parcelles : ces zones ne sont pas forcément représentatives de la totalité des parcelles.

Ces extrapolations sur ou sous-estiment les postes estimés pour le calcul des bilans. Il est donc nécessaire d'en tenir compte dans l'interprétation des résultats.

Pour limiter ces biais, la représentativité des points de fertilisation par rapport au parcellaire est à approfondir. Elle permettrait peut-être de retenir une autre entrée que celle des parcelles pour l'établissement des bilans, sur la base des types de sol. De plus pour permettre une meilleure extrapolation, un répertoire des ressemblances entre parcelles pourrait être réalisé à dire d'experts.

- Méthode employée pour l'estimation de la fixation :

Pour les prairies, le modèle de Vertès retient un coefficient 1.3 pour prendre en considération les parties souterraines des trèfles mais pas pour les luzernes, ce qui accroît la différence entre les deux types de couverts pour l'estimation de la fixation symbiotique d'azote. La fixation varie aussi selon l'âge des légumineuses et des paramètres du sol (Watson *et al.*, 2002b), des paramètres qui ne sont pas pris en compte dans ce modèle. De plus, la méthode se base sur des quantités récoltées ou ingérées par le troupeau et ne prend pas en compte les données de biomasse sur pied (nous ne disposons pas non plus de ces données...), ce qui minimise la quantité réelle d'herbe produite.

b. Retour sur les résultats

i) Résultats annuels de 2012 :

Pour l'azote, la moyenne de la fixation symbiotique des prairies semées est de 67kgN/ha pour les luzernes et de 96kgN/ha pour les PT : ces différences peuvent être dues au mode de calcul

proposé par Vertès (voir VI.2) a.), mais également à l'âge des prairies. De plus, en 2012 le gel a été défavorable aux luzernes de troisième année, ce qui a aussi très fortement marqué la quantité d'azote fixée.

Pour le phosphore et le potassium, les quelques soldes annuels positifs correspondent uniquement aux parcelles qui ont bénéficiées d'une fertilisation, cela montre l'importance de cette unique poste d'entrée (considérant l'entrée *via* les semences négligeable).

La quantité d'éléments exportée est plus importante pour les luzernes : cela résulte du fait que les luzernes ne sont pratiquement plus pâturées mais récoltées, tandis que les PT sont pâturées et récoltées. Les sorties liées aux PT seront donc d'un autre ordre, c'est-à-dire liées au pâturage avec des exportations *via* les produits animaux, que nous n'avons pas estimées.

ii) Résultats pluriannuels :

Pour l'azote, les parcelles ont un solde qui va évoluer avec la prise en compte des entrées et sorties liées au pâturage. Les parcelles de prairie permanente avec un excédent d'azote actuel moyen de 503 kgN/ha peuvent se retrouver déficitaire après l'ajout des sorties *via* les produits animaux, notamment dans le secteur VL avec le lait pour principale exportation en N (Zenboudji, 2012). Pour les parcelles des systèmes de culture, leur solde évoluera aussi mais plus faiblement car les postes manquants ne seront valables que pour les trois années de prairies semées

Pour le phosphore, les parcelles faiblement positives comme Moine 1 (secteur des génisses), Justice 10, Justice 1 et Joly 2 (secteur des VL) risquent de devenir déficitaires notamment dans le secteur des VL car les sorties en P sont plus importantes dans ce secteur *via* les produits animaux et les déjections hors parcelles (Zenboudji, 2012)

Pour le potassium, le solde est négatif pour les SdC et quelques prairies permanentes. Les parcelles cultivées exportant beaucoup de paille pour les besoins en litière du troupeau, ceci explique vraisemblablement de tels bilans négatifs.

De plus, les parcelles du secteur des VL subissent des sorties importantes *via* la production laitière ainsi que les déjections hors parcelles qui est le plus grand poste de sortie pour le potassium (Zenboudji, 2012) ; ce secteur sera donc vraisemblablement davantage déficitaire que le secteur des génisses. Par exemple, la parcelle Ravenel 6, dans le secteur des VL, est d'ores et déjà à la limite du déficit : il y a donc de fortes chances que cette parcelle soit déficitaire lorsque le bilan total sera réalisé, à moins que les apports en alimentation

complémentaire soit conséquent afin de compenser ces sorties. A la différence de la parcelle Pré Etang 3 qui possède de la marge avec un solde positif de 527kg/ha, ce qui permettra peut-être de compenser les sorties non calculées.

iii) Conclusions sur les résultats obtenus

Le solde annuel ne permet pas de rendre compte du réel bénéfice possible de la succession des différents couverts dans une rotation généralement composée d'années avec des soldes positifs et négatifs. C'est pourquoi il est important d'étudier les parcelles à l'échelle d'une rotation. Dans le cas de l'élément N on constate bien un phénomène de « compensation » entre les différentes années sans prendre en compte les données concernant le pâturage. Ce qui n'est pas le cas pour P et K qui possèdent des soldes négatifs pour les SdC et quelques parcelles en prairie permanente. Ceci est un constat général dans les exploitations biologiques (Fontaine *et al.*, 2012). En effet il est difficile de gérer un seul élément à la fois avec pour seul moyen de fertilisation les effluents d'élevage.

Pour l'élément N les soldes sont positifs, cette différence avec les autres éléments peut s'expliquer par des postes d'entrée plus nombreux, avec une entrée conséquente au niveau de la fixation symbiotique qui ne se retrouve pas pour P et K. Si on ne prend en considération que la fertilisation pour l'azote alors les soldes de cet élément se retrouvent eux aussi négatifs.

Les soldes actuels ne nous permettent pas de conclure quant à la durabilité du système mais on peut prévoir une diminution de ceux-ci avec les exportations *via* les produits animaux. Ces postes de sorties n'ont pas été traités durant ce stage, car la gestion du pâturage du SPCE est complexe. En effet, il y a différents groupes d'animaux (vaches en lactation, vaches tarées, génisses, etc) à prendre en compte et le mode de pâturage est tournant, avec des durées sur chaque parcelle qui varient de quelques heures pour les luzernes à plusieurs jours, avec des parcelles parfois pâturées uniquement de nuit ou de jour.

VII. Conclusion & Perspectives

Dans cette étude nous avons donc réalisé les soldes des éléments N, P et K des parcelles du SPCE sur les campagnes 2005 à 2012. Une première étude du fonctionnement du système a permis de se rendre compte de la complexité de la gestion des cultures et des flux de matières.

La méthode utilisée afin d'apprécier les flux d'éléments à l'intérieur du système et plus particulièrement au sein des parcelles est celle du bilan « sol-surface ». Les résultats annuels ont montrés i) au niveau de l'azote, des soldes positifs et négatifs pour les parcelles des systèmes de culture et au niveau des prairies permanente des soldes positifs ii) au niveau du phosphore et du potassium des parcelles cultivées avec un solde majoritairement négatif et globalement positifs pour les prairies permanentes. Au niveau des rotations, pour les parcelles cultivées avec une rotation conforme et toutes les prairies permanentes, les soldes sont positifs pour l'azote tandis que pour les autres éléments (P et K) ceux-ci sont négatifs pour les parcelles cultivées et globalement positifs pour les prairies permanentes.

Pour être complet et être qualifié de bilan l'étude réalisé nécessite en plus le calcul et la prise en compte des données concernant le pâturage qui sont i) au niveau des entrées l'alimentation complémentaire et ii) pour les sorties les produits animaux (lait, croissance, gestation) et déjections hors parcelles.

De plus, cette étude a permis d'utiliser la base de données ASTER-ix pour ainsi pouvoir corriger les données erronées et se rendre compte des améliorations qui pourraient être apportées pour par la suite mieux évaluer le système.

Enfin, d'un point de vue personnel, ce stage m'a permis de renforcer mon intérêt pour l'agriculture biologique et plus particulièrement sur ses enjeux tant sur le plan de la production que sur celui de la durabilité de tels systèmes. J'ai pu me rendre compte de l'importance des interactions des flux de matières (et donc d'éléments) au sein d'un système de polyculture-élevage et suis convaincue que ce type de production agricole associant cultures et animaux mérite plus de considération pour la durabilité des exploitations. D'une façon générale, ce stage auprès d'une équipe d'une unité du département SAD m'a permis de me rendre compte de l'importance de la recherche appliquée dans un dispositif innovant comme celui de Mirecourt, qui permet de rendre disponible des données et connaissances pouvant s'appliquer à des cas réels et les faire avancer.

Liste bibliographique

1. Aronsson H, Torstensson G & Bergström L, 2007, "Leaching and crop uptake of N, P and K from organic and conventional cropping systems on a clay soil", *Soil Use and Management*, 23 : 71-81
2. Arrouays D., Balesdent J, Germon J-C, Jayet P-A, Soussana J-F et Stengel P, 2002, « Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? », Expertise scientifique collective. Synthèse du rapport. INRA (France), 32 pp.
3. Barataud F, Foissy D, Fiorelli J-L, Beaudouin N, Burel E & Billen G, « Conversion of a conventional to an organic mixed farming system: Consequences in terms of N fluxes" (non publié)
4. Barré P, Velde B, Catel N, Abbadie L, 2007, " Soil-plant potassium transfer : impact of plant activity on clay minerals as seen from X-ray diffraction", *Plant Soil*, 292 : 137-146
5. Benoit M, 1992, « Un indicateur des risques de pollution azotée nommé « Bascule » (Balance Azotée Spatialisée des systèmes de Culture de l'Exploitation) », *Fourrages*, 129 : 95-110
6. Bossuet I & Chambaut H, 2006, "Green Dairy experimental sites: Methodological protocol"
7. Coquil X, Blouet A, Fiorelli J-L, Bazard C & Trommenschlager J-M, 2009, « Conception des systèmes laitiers en AB : une entrée agronomique. », *Inra Prod. Anim.*, 22 (3) : 221-234
8. Coquil X, Fiorelli J-L, Blouet A, Trommenschlager J-M, Bazard C & Mignolet C, 2011, « Conception de systèmes de polyculture élevage laitiers en AB : synthèse de la démarche pas à pas centrée sur le dispositif expérimental INRA ASTER Mirecourt », *Renc. Rech. Ruminants*, 18 : 57-60.
9. Decau M.L, Delaby L & Roche B, 1997, « « AzoPât : une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières. II) Les flux du système sol-plante », *Fourrages*, 151 : 313-330
10. Delaby L, Decau M.L, Peyraud J.L & Accarie P, 1997, « AzoPât : une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières. I) Les flux associés à l'animal », *Fourrages*, 151 : 297-311

11. Eriksen J, Askegaard M & Sørensen K, 2008, "Residual effect and nitrate leaching in grass-arable rotations: effect of grassland proportion, sward type and fertilizer history", *Soil Use and Management*, 24 : 373-382
12. Farruggia A, Decau M.L, Vertès F & Delaby L, 1997, "En prairie, la balance azote à l'échelle de la parcelle", *Fourrages*, 151 : 281-296
13. Fiorelli J.L., Coquil X., Trommenschlager J.M., Godfroy M., Bazard C., Blouet A., 2012. « Vers une autonomie accrue des systèmes de production : quelles marges de manœuvre et quelles limites à l'échelle de l'exploitation agricole ? » Journée "Gestion territoriale des éléments minéraux en agriculture", RMT Fertilisation-Environnement, nov2012, Paris.
14. Fontaine L, Fourrié L, Garnier J-F, Mangin M, Colomb B, Carof M, Aveline A, Prieur L, Quirin T, Chareyron B, Maurice R, Glachant C, Gouraud J-P, 2012, « Connaître, caractériser et évaluer les rotations en systèmes de grandes cultures biologiques », *Innovations Agronomiques* 25 : 27-40
15. Institut National de la Recherche Agronomique, 1978, "Tables de l'alimentation des ruminants", Ed. I.N.R.A Publications (route de Saint-Cyr). 112p
16. Institut National de la Recherche Agronomique, 1988, « Alimentation des bovins, ovins et caprins », Ed INRA. 471p
17. Lal R, 2004, "Carbon emission from farm operations", *Environment International*, 30 : 981-990
18. Loges R, Kelm M & Taube F, 2009, "Comparative analysis of nitrogen surpluses and nitrogen losses of conventional and organic farms in Northern Germany", 16th Nitrogen Workshop – Connecting different scales of N use in agriculture, 485-486
19. Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, Commissariat général au développement durable, service de l'observation et des statistiques, 2009, « Le phosphore dans les sols, nécessité agronomique, préoccupation environnementale », *Le point sur*, 14 : 1-4
20. Öborn I, Edwards A.C, Witter E, Oenema O, Ivarsson K, Withers P.J.A, Nilsson S.I & Richert-Steininger A, 2003, "Element balances as a tool for sustainable nutrient management:

a critical appraisal of their merits and limitations within an agronomic end environmental context”, *European Journal of Agronomy*, 20 : 211-225

21. Öborn I, Modin-Edman A-K, Bengtsson H, Gustafson G.M, Salomon E, Nilsson S.I, Holmqvist J, Jonsson S &Sverdrup H, 2005, “A systems Approach to assess Farm-scale Nutrient and Trace element Dynamics : A case study at the Öjebyn Dairy Farm”, *Ambio*, 34 (4-5) : 301-310

22. Oenema O &Pietrzak P, 2002, “Nutrient Management in Food Production: Achieving Agronomic and Environmental Targets”, *Ambio*, 31 (2) : 159-168

23. Oenema O, Kros H & De Vries W, 2003, “Approaches and uncertainties in nutrient budgets : implications for nutrient management and environmental policies”, *Europ. J. Agronomy*, 20 : 3-16

24. Peyraud J-L, Cellier P, Donnars C, Réchauchère (coord.) O, Aarts F, Béline F, Bockstaller C, Bourblanc M, Cellier P, Delaby L, Dourmad J-Y, Dupraz P, Durand P, Faverdin P, Fiorelli J-L, Gaigné C, Kuikman P, Langlais A, Le Goffe P, Les-coat P, Morvan T, Nicourt C, Parnaudeau V, Peyraud J-L, Rochette P, Vertes F, VeyssetP, 2012. « Les flux d’azote liés aux élevages, réduire les pertes, rétablir les équilibres », synthèse du rapport d’expertise scientifique collective, INRA (France), 68p

25. Raison C, Chambaut H, Le Gall A &Pflimlin A, 2008 « Impact du système fourrager sur la qualité de l’eau. Enseignements issus du projet Green Dairy », *Fourrages*, 193 : 3-18

26. Sauvant D, Perez J-M &Tran G, coord., 2002 « Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d’élevage », Ed INRA & AFZ. 301p

27. SveinssonTh, Halberg N&Kristensen I.S, 1998, “Problems associated with Nutrient Accounting and Budgets in Mixed farming Systems”, *Mixed Farming Systems in Europe-Workshop Dronten/Wageningen*, 25-28 : 1-5

28. Topp C.F.E, Stockdale E.A, Watson C.A &Rees R.M, 2007, “Estimating resource use efficiencies in organic agriculture : a review of budgeting approaches used”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87 : 2782-2790

29. Trommenschlager J-M, Gaujour E, Fontana E, Harmand M, Foissy D, Huguet J &Bazard C, 2010, « Gérer et organiser les données agricoles et de recherche d’un site expérimental ;

Réalisation d'une base de données pour l'expérimentation-système en place sur l'installation expérimentale de l'unité ASTER Mirecourt. », Cahier Technique Inra, 69 : 5-27

30. Van Beek C.L, Brouwer L & Oenema O, 2003, "The use of farmgate balances and soil surface balances as estimator for nitrogen leaching to surface water", Nutrient Cycling in Agroecosystems, 67 : 233-244

31. Van Keulen H, Aarts H.F.M, Habekotté B, Van der Meer H.G & Spiertz J.H.J, 2000, "Soil-Plant-animal relations in nutrient cycling : the case of dairy farming system 'De Marke' ", European Journal of Agronomy, 13 : 245-261

32. Velthof G.L, Bannink A, Oenema O, Van der Meer H.G & Spoelstra S.F, 2000, "Relationship between animal nutrition and manure quality/ A literature review on C,N,P and S compounds", Alterra-rapport, 63 : 1-44

33. Verhoeven F.P.M, Reijs J.W & Van Der Ploeg J.D, 2003, "Re-balancing soil-plant-animal interactions: towards reduction of nitrogen losses", NJAS, 51 (1/2) : 147-164

34. Vertès F., Jeuffroy M.-H., Justes E., Thiébeau P., Corson M, 2010, « Connaître et maximiser les bénéfices environnementaux liés à l'azote chez les légumineuses, à l'échelle de la culture, de la rotation et de l'exploitation », Innovations Agronomiques 11, 25-44

35. Watson C.A, Atkinson D, Gosling P, Jackson L.R & Rayns F.W, 2002a, "Managing soil fertility in organic farming systems", Soil Use and Management, 18 : 239-247

36. Watson C.A, Bengtsson H, Ebbesvik M, Løes A-K, Myrbeck A, Salomon E, Schroder J & Stockdale E.A, 2002b, "A review of farm-scale nutrient budgets for organic farms as a tool for management of soil fertility", Soil Use and Management, 18 : 264-273

37. Zenboudji.EI-H, 2012, « Bouclage des cycles de nutriments au sein d'un système d'élevage herbager biologique », Mémoire de fin d'études de Master FAGE, Université de Lorraine : 24p

Webographie :

Chambre d'agriculture Puy-de-dôme (Décembre 2010) *Guide de mise en place des CIPAN*
Consulté le 24 Juin sur : http://www.chambre-agri63.com/documents/Guide_CIPAN.pdf

INRA Unité ASTER (2013) Consulté le 5 août sur : <http://www4.nancy.inra.fr/sad-aster>

Résumé : Dans un souci de durabilité des systèmes de production agricole, il est important de limiter les pertes d'éléments vers l'environnement. Les bilans permettent d'évaluer le degré de bouclage des éléments et en estimer les surplus ou déficits. Cette étude permet l'évaluation des soldes d'entrées et sorties d'azote, de phosphore et de potassium grâce au bilan « sol-surface » réalisé sur huit campagnes (2005 à 2012) des parcelles du système de polyculture-élevage autonome de l'INRA de Mirecourt (Unité ASTER) en agriculture biologique. Les postes d'entrées pris en compte sont la fertilisation et les semences, auquel s'ajoutent la fixation symbiotique et la déposition atmosphérique pour l'azote. Pour les sorties, seules les récoltes des prairies et des cultures sont étudiées ici. Les résultats montrent des soldes annuels positifs concernant l'azote pour les prairies et les cultures fertilisées ; pour le phosphore et le potassium, les soldes sont globalement négatifs pour les cultures et positifs pour les prairies permanentes. Les soldes interannuels ont pu être évalués sur quelques parcelles, et se révèlent être globalement positifs pour l'azote, tandis que les éléments phosphore et potassium possèdent très fréquemment des soldes négatifs. Cette étude n'a pas permis d'aboutir aux calculs des bilans (notamment pour les postes de sorties) pour aller jusqu'à évaluer la durabilité du système, mais ces premiers résultats apportent des arguments quant à l'état excédentaire d'azote et déficitaire pour le phosphore et le potassium.

Mots clefs : Bilan d'éléments (N, P et K), sol-surface, Système polyculture-élevage, Agriculture Biologique, système autonome

Abstract: In the interest of sustainability of agricultural production systems, it is important to limit the losses of elements to the environment. Nutrient budgets allow assessing the degree of elements closure and estimating the surplus or deficit. This study evaluating balances of inputs and outputs of nitrogen, phosphorus and potassium through "soil-surface" budget performed on eight campaigns (2005-2012) and on plots of self-sufficiency mixed farming system in Mirecourt (ASTER Unit) in organic agriculture. The input items considered are fertilization and seed, and the symbiotic nitrogen fixation and atmospheric deposition for nitrogen. For outputs, only grassland and crops harvests are studied here. The results show positive annual balances for nitrogen for grassland and fertilized crops, for phosphorus and potassium balances are generally negative for crops and positive for permanent grassland. Interannual balances proved to be generally positive for nitrogen, while the elements phosphorus and potassium frequently have negative balances. This study did not lead to budgets calculation to assess the sustainability of the system, but these early results provide arguments as to the excess nitrogen status and deficit for phosphorus and potassium.

Keywords: Nutrient budget (N, P et K), soil-surface, mixed farm, Organic farming, self-sufficiency system

Liste des annexes

Annexe 1: Requêtes de ALAMB-ix	II
Annexe 2 : Analyse des rotations en fonction de la rotation type du SdC.....	VI
Annexe 3 : Calendrier de couverture des sols et épandages.....	X
Annexe 4 : Calendrier des récoltes et pâturage des prairies.....	XI
Annexe 5 : Règles d'attribution de valeur pour les éléments sans données	XII
Annexe 6 : Résultats annuels de N.....	XIV
Annexe 7 : Résultats annuels de P	XV
Annexe 8 : Résultats annuels de K.....	XVI
Annexe 9 : Résultats des soldes pluriannuels pour N	XVII
Annexe 10 : Résultats des soldes pluriannuels pour P.....	XVIII
Annexe 11 : Résultats des soldes pluriannuels pour K	XIX

Annexe 1: Requêtes de ALAMB-ix

Les requêtes énoncées ci-dessous se situent dans la base de données ALAMB-ix_AC.

R_AC_Pâturation_JN et R_AC_Pâturation_J-N-HO permettent de faire fonctionner R_NBJP en répertoriant les nombres de jour/nuit, jour, nuit ou horaire passés en pâturation.

R_analyserécolte_prairie = recense les analyses des produits récoltés sur les prairies. Elle a permis de renseigner les valeurs de N,P,K et Corga des récoltes prairiales. Ces données sont à l'échelle des points ferti (PF) **Attention :** ces analyses peuvent faire références à des échantillons de récoltes et pâturation (pas seulement des récoltes) !

R_analyserécolte_grain = recense les analyses des grains récoltés, elle a permis de renseigner les valeurs des récoltes de grain en N,P,K,Corga. Ces données sont à l'échelle des points ferti (PF)

R_analyserécolte_paille = recense les analyses des pailles récoltés, elle a permis de renseigner les valeurs des récoltes en N,P,K,Corga. Ces données sont à l'échelle des points ferti (PF)

R_analyse_ferti (croisé dynamique) = recense tous les épandages réalisés sur les parcelles avec leur quantité, le produit épandu et le producteur du produit épandu ainsi que l'analyse du produit correspondant quand celle-ci existe.

R_analyse_ferti_suite (croisé dynamique) = recense toutes les analyses des produits fertilisants qu'ils soient épandus ou stockés, cette requête permet des informations supplémentaire sur certains produits ne figurant pas dans la requête précédente si par exemple le produit a été analysé avant d'être épandu.

R_analyse_prod_conso = recense les analyses des produits consommés afin notamment de déduire la teneur en N des produits récoltés à partir de la MAT ($\text{MAT}/6.25 = \text{N}$). Ces données sont à l'échelle de la parcelle.

Attention : Une analyse peut être constituée de plusieurs récoltes de parcelles différentes.

R_analyse_qté_recolte_prairie = fait le lien entre la requête recensant les analyses et les récoltes des produits issues des prairies permettant ainsi d'avoir toutes les récoltes avec les analyses de certaines récoltes quand celles-ci ont été analysées. Ces données sont à l'échelle des points ferti (PF) pour les analyses mais à l'échelle de la parcelle pour les quantités récoltées.

R_analyse_qté_recolte_grain = fait le lien entre la requête recensant les analyses et les récoltes de grain permettant ainsi d'avoir toutes les récoltes avec les analyses de certaines récoltes quand celles-ci ont été analysées. Ces données sont à l'échelle des points ferti (PF) pour les analyses mais à l'échelle de la parcelle pour les quantités récoltées.

R_analyse_qté_recolte_paille = fait le lien entre la requête recensant les analyses et les récoltes de paille permettant ainsi d'avoir toutes les récoltes avec les analyses de certaines

récoltes quand celles-ci ont été analysées. Ces données sont à l'échelle des points ferti (PF) pour les analyses mais à l'échelle de la parcelle pour les quantités récoltées.

R_analyses_foin_MS = recense les taux de matière sèche des produits récoltés issus des prairies. Ces données sont à l'échelle de la parcelle.

R_analyses_foin_MS_PF = recense les taux de matière sèche des produits récoltés issus des prairies. Ces données sont à l'échelle des PF.

R_analyses_grain_paille_MS = recense les taux de matière sèche et d'humidité des produits récoltés, grains et pailles. Ces données sont à l'échelle de la parcelle.

R_analyses_recoltes (croisé dynamique) = recense toutes les récoltes (grain, paille, foin...) ainsi que les analyses quand celles-ci sont disponibles de l'humidité, taux de matière sèche, impureté.... Ces données sont à l'échelle des PF

R_analyses-toutes = recense toutes les analyses disponibles avec le produit (grain, foin, fumier...), le type d'analyse (humidité, P2O5, MAT...), la valeur. Ces données sont à l'échelle de la parcelle et du PF.

R_analyses-toutes_CD (croisé dynamique) = idem que la requête ci-dessus mis à part que celle-ci est sous forme croisé dynamique et se retrouve dans les requêtes d'analyse spécifiques à un produit (grain ou paille...), exemple : R_analyserecolte_grain

R_année_coupe (croisé dynamique) = permet de voir la date des coupes effectuées sur les prairies par parcelle et par année/1^{er} 2^{eme}, 3^{eme} ou 4^{eme} coupe

R_assol_IC = recense les dates de début et fin des assolements de culture intermédiaire (CI) ainsi que le type de couvert de cette CI.

R_assol_PT = recense les dates de début et fin des prairies (ainsi que le type de couvert)

R_Assolement_général = permet de voir les assolements des parcelles de 2004 à 2013. Sont précisés le type de culture (principale ou secondaire), le nom de la culture semée et les dates de début et fin de la culture.

R_epandage (croisée dynamique) = permet de voir les quantités et types de fertilisant épandus sur les parcelles, ainsi que les dates et les pourcentages du travail réalisé sur la parcelle.

R_épandage_analyse_croisée (croisé dynamique) = requête_epandage en mode tableau dynamique avec les quantités épandues sur chaque parcelle en fonction des produits.

R_ITK = permet de référencer les travaux de semis, épandages et récoltes réalisés sur chaque parcelle avec la date et le pourcentage du travail réalisé sur la parcelle.

R_NBJP (croisé dynamique) = Requête permettant de voir le nombre de journée total de pâturage par parcelle et par année/mois. Elle ne prend pas en compte le nombre d'UGB. Les pâturages de jour, nuit et créneaux horaires sont comptabilisés comme des demi-journées

R_NBJ_pât_NB_coupe = indique pour chaque parcelle le nombre de journée pâturée ainsi que les dates des coupes réalisées.

R_opé_fin_assol_IC = permet de voir les dernières opérations réalisées sur les cultures intermédiaires afin de vérifier leur date de fin d'assolement (qui doit correspondre à la destruction du couvert ou gel).

R_opé_fin_assol_PT = permet de voir les dernières opérations réalisées sur les prairies semées (luzerneX et PT) afin de vérifier leur date de fin d'assolement (qui doit correspondre à la dernière récolte ou dernier pâturage)

R_poignées_léguCD (croisé dynamique) = recense les données concernant les légumineuses à partir de la méthode des poignées (différent de la requête R_qtés_légu, donc ces deux requêtes sont complémentaires). En plus des valeurs cumulées (addition des 10 répétitions) il y a aussi la quantité de l'échantillon afin de réaliser une valeur pondérée de la biomasse.

R_point_ferti = recense les points ferti (PF) de chaque parcelle avec la date de début et date de fin de chaque PF.

R_provenances_semences = permet de voir d'où sont issu les semences utilisées, afin notamment de renseigner s'il s'agit d'une autoproduction ou d'un semis à base de semences achetées. Ce renseignement a servis lors du calcul du poste d'entrée par les semences.

R_qté_alim_compl = requête non finalisé qui devait permettre de voir la quantité d'alimentation complémentaire apporté afin de calculer le poste d'entrée du bilan « alimentation complémentaire »

R_Qté_Recolt (croisé dynamique) =recense toutes les récoltes effectuées sur chaque parcelle de 2004 à 2012, avec la date, le pourcentage de la parcelle récolté ainsi que l'espèce, le produit, la quantité récoltés et la coupe correspondante (1^{er}, 2eme, 3eme...)

R_Qté_Recolt_grain (croisé dynamique) = recense toutes les quantités de grain récoltées sur toutes les parcelles en spécifiant l'espèce.

R_Qté_recolt_paille (croisé dynamique) = recense toutes les quantités de paille récoltées sur toutes les parcelles en spécifiant l'espèce.

R_Qté_Recolt_prairies = recense toutes les quantités des récoltés réalisées sur les prairies en spécifiant l'espèce, le type de produit récolté et le numéro de coupe correspondant.

R_qté_semée = recense toutes les quantités semées sur toutes les parcelles.

R_qtés_légu = recense les données sur les pourcentages de légumineuse présent dans les parcelles à l'échelle des PF. Ces données sont les pourcentages pondérés issu des échantillons d'herbe récolté ou pâturé

R_Recolte_cultures = recense toutes les récoltes des parcelles cultivées avec les dates, les espèces, les produits récoltés et les pourcentages travaillés des parcelles. Cette requête a permis de réaliser les graphiques des rotations réalisées sur chaque parcelle (avec parfois la requête des semis)

R_Recolte_prairies = recense toutes les récoltes effectuées sur les prairies ainsi que les foins de méteil avec les dates, pourcentages du travail réalisé et les types et quantités des produits récoltés.

R_Secteur = permet de différencier les parcelles du secteur VL et du secteur « autre »

R_semis_IC = recense les espèces semées dans les cultures intermédiaires avec dates de semis.

R_Semis_Variétés = recense tous les semis de chaque parcelle avec les quantités semées et les dates de semis en précisant en plus la variété de l'espèce semée. Il est aussi spécifié le type de semis (classique, à la volée...). Cette requête a permis de vérifier les données renseignées dans les graphiques rotations.

R_Texture = classe toutes les parcelles selon la texture, la profondeur d'horizon et le substratum.

R_vente = fait référence aux ventes réalisées depuis 2004, il est précisé l'espèce, le produit et la quantité vendu.

Annexe 2 : Analyse des rotations en fonction de la rotation type du SdC

Rotation 6H (11 parcelles, totalisant 30.41ha) :

Parc. 6H	Acces VL	Rotation "type" 6H								
		Avant AB	1 Prairie Temporaire	2 Prairie Temporaire	3 Prairie Temporaire	4 Blé Hiver	5 Céréale Sec. Hiver	6 Céréale Sec.Hiver		
Just 8	oui	TH 2004	OH 2005	PT 2006	PT 2007	PT 2008	BH 2009	Ep 2010	OH 2011	PT 2012
HB 4	non	BH 2004	PT 2005	PT 2006	PT 2007	BH 2008	TH 2009	SH 2010	PT 2011	PT 2012
Moine 4	non	PP 2004	PP 2005	BH 2006	PT 2007	PT 2008	PT 2009	BH 2010	TH 2011	SH 2012
Just 9	oui	PT 2004	BH 2005	TH/PFH 2006	OH 2007	PT 2008	PT 2009	PT 2010	BH 2011	TH 2012
HB 3	non	Mais Ens 2004	Av/FeP 2005	BH 2006	PT 2007	BH 2008	Ep 2009	SH 2010	PT 2011	PT 2012
Rav 33	oui	Mais Ens 2004	BH 2005	Av/FeH 2006	Ep 2007	OH 2008	PT 2009	PT 2010	PT 2011	BH 2012
HV 31	non	PP 2004	PP 2005	PP 2006	BH 2007	TH 2008	SH 2009	PT 2010	PT 2011	PT 2012
SAU21	non	Mais Ens 2004	BH 2005	TH/PFH 2006	OH 2007 OP	PT 2008	PT 2009	PT 2010	BH 2011	TH 2012
C.B 12	non	Colza 2004	BH 2005	OP 2006 Nyg	PT 2007 OH,TH,OP,TP en echec	PT 2008	PT 2009	PT 2010	BH 2011	TH 2012
HB 5	non	BH 2004	PT 2005	PT 2006	OP 2007 TH ech	OH 2008	PT 2009	PT 2010	PT 2011	BH 2012
PF 1	non	PT 2004	BH 2005	TH 2006	PT 2007 ech OH	PT 2008	PT 2009	PT 2010	BH 2011	TH 2012

JUS8 = Depuis 2005 (succession parfaite depuis le début de la mise en place du système biologique) =>rotation parfaite sur 6 ans plus 2 ans

HB4 = Depuis 2005 (succession parfaite depuis le début de la mise en place du système biologique) =>rotation complète sur 6 ans plus 2 ans de PT

MOI4= Depuis 2007 (précédents non conformes : jusqu'en 2005 PP puis BH en 2006) =>rotation parfaite sur 6 ans

JUS9 = Depuis 2007 (précédent non conforme : TH/PFH en 2006) =>rotation complète sur 6 ans

HB3 = Depuis 2007 (avec une seule année de PT, précédent non conforme : BH en 2006) =>rotation complète sur 6 ans (mais pas 3 années de PT successives)

RAV33= Depuis 2007 (précédent non conforme : AvH/FeH en 2006) =>rotation complète sur 6 ans

HV31 = Depuis 2007 (avant 2007 la parcelle était en PP) =>rotation complète sur 6 ans

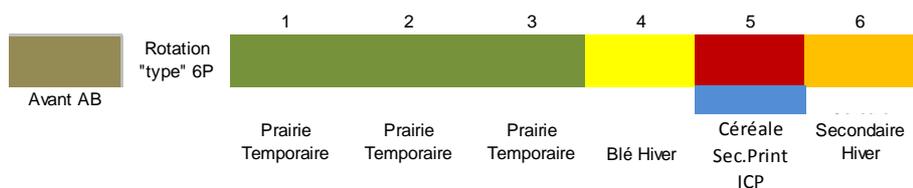
SAU21 = Depuis 2007 (OH = 56% et OP = 44%, donc « 56% de la parcelle entre dans rotation en 2007 », précédent non conforme : TH/PFH en 2006) =>rotation complète sur 6 ans pour une fraction de la parcelle

CB12= Depuis 2008 (échec des céréales secondaires (OH, TH, OP, TP) de 2007, semis PT Avril 2007 conforme) =>rotation conforme sur 5 ans

HB5 = Depuis 2008 (échec d'OH donc semis d'OP en 2007 qui rend le précédent non conforme) =>rotation conforme sur 5 ans

PF1 = Depuis 2008 (échec d'OH en 2007 qui rend la succession non conforme avant 2008) =>rotation conforme sur 5 ans

Rotation 6P (7 parcelles, totalisant 18.24 ha) :



Parc. 6P	Acces VL	1	2	3	4	5	6			
Ravenel 11	oui	PP 2004	BH 2005	PT 2006	PT 2007	BH 2008	TP 2009	SH 2010	PT 2011	PT 2012
							ICP			
H. du Bois 2	non	Mais Ens 2004	Av/FeP 2005	BH 2006	PT 2007	PT 2008	PT 2009	BH 2010	TP 2011	SH 2012
		IC RGA							ICP	
Ravenel 3	oui	PP 2004	PP 2005	BH 2006	PT 2007	PT 2008	PT 2009	BH 2010	TP 2011	SH 2012
									ICP	
Ravenel 12	oui	PP 2004	PP 2005	PP 2006	BH 2007	TP 2008	SH 2009	PT 2010	PT 2011	PT 2012
						ICP				
Domvallier 1	non	PP 2004	PP 2005	PP 2006	BH 2007	TP 2008	SH 2009	PT 2010	PT 2011	PT 2012
						ICP				
Domvallier 2	non	PP 2004	BH 2005	LUP/OP 2006	OH 2007	PT 2008	PT 2009	PT 2010	BH 2011	TP 2012
										ICP
H. du Bois 1	non	Mais Ens 2004	Av/FeP 2005	BH 2006	PT 2007	PT 2008	BH 2009	TP 2010	Ep 2011	PT 2012
		IC RGA						ICP		

Rav11 = Depuis 2006 (précédent non conforme : BH en 2005 et PP jusqu'en 2004) => rotation complète sur 6 ans plus un an, mais pas 3 années successives de PT

HB2 = Depuis 2007 (précédent non conforme : BH en 2006) => rotation parfaite sur 6ans

Rav3 = Depuis 2007 (précédent non conforme : BH en 2006 et PP jusqu'en 2005) => rotation parfaite sur 6ans

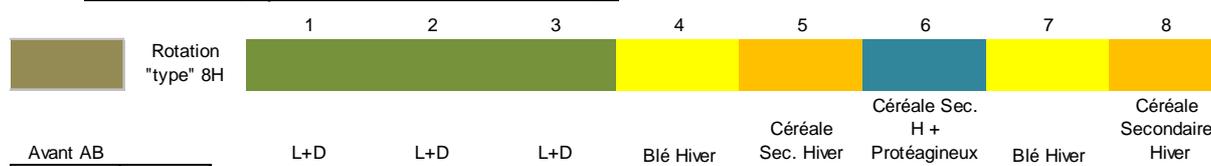
Rav12 = Depuis 2007 (précédent non conforme : PP jusqu'en 2006) => rotation complète sur 6 ans

Dom1 = Depuis 2007 (précédent non conforme : PP jusqu'en 2006) => rotation complète sur 6 ans

Dom2 = Depuis 2007 (précédent non conforme : aP en 2006 (PP jusqu'en 2004)) => rotation complète sur 6ans

HB1 = Depuis 2007 (précédent non conforme : BH en 2006) => rotation complète sur 6 ans, mais pas 3 années successives de PT

Rotation 8H (4 parcelles, totalisant 9.71 ha) :



Parc. 8H	Acces VL	1	2	3	4	5	6	7	8	
Moine 5	non	PP 2004	PP 2005	BH 2006	TH 2007	AVH/FeH 2008	BH 2009	OH 2010	L+D 2011	L+D 2012
Justice 7	oui	Av/FeP 2004	BH 2005	BH 2006	BH 2007	OH 2008	L+D 2009	L+D 2010	L+D 2011	BH 2012
Justice 2	oui	Mais Ens 2004	BH 2005	Ep 2006	OH 2007 OP	L+D 2008	L+D 2009	L+D 2010	BH 2011	Ep 2012
		TS (IC)	FeP 8%							
P Etang 2	oui	PP 2004	PP 2005	PP 2006	PP 2007	BH 2008	TH 2009	AVH/FeH 2010	BH 2011	OH 2012

Moine 5 = Depuis 2006 (précédent non conforme : PP jusqu'en 2005) => rotation conforme sur 7ans

Justice 7 = Depuis 2007 (précédent non conforme : 2 années de BH 2005 et 2006) => rotation conforme sur 6ans

Justice 2 = Depuis 2007 à 52% OH (précédent non conforme : Ep en 2006) => rotation conforme sur 6 ans pour une fraction de la parcelle

P Etang 2 = Depuis 2008 (précédent non conforme : jusqu'en 2007) => rotation conforme sur 5ans, sans L+D

Rotation 8P (21 parcelles, totalisant 47.35 ha) :

		Rotation "type" 8P									
		1	2	3	4	5	6	7	8		
		L+D		L+D		Blé Hiver		Céréale Secondaire Hiver		Céréale Sec. P + Protéagineux ICP	
		L+D		Blé Hiver		Céréale Sec. Printemps ICP					
Parc. 8P	Acces VL										
Jard. Rav	non	BH 2004	Ep 2005	LuP/Op 2006	BH 2007	OP 2008	L+D 2009	L+D 2010	L+D 2011	BH 2012	
				ICP		ICP					
PF31	non	OH 2004	LuP/OP 2005	BH 2006	TP 2007	L+D 2008	L+D 2009	L+D 2010	BH 2011	TH 2012	
			ICP		ICP						
Just A10	oui	TH 2004	L+D 2005	L+D 2006	BH 2007	Ep 2008	TP/PFP 2009	BH 2010	TP 2011	L+D 2012	
							ICP		ICP		
Just A20	oui	TH 2004	L+D 2005	L+D 2006	BH 2007	Ep 2008	TP/PFP 2009	BH 2010	TP 2011	L+D 2012	
							ICP		ICP		
Just A40	oui	TH 2004	L+D 2005	L+D 2006	BH 2007	Ep 2008	TP/PFP 2009	BH 2010	TP 2011	L+D 2012	
							ICP		ICP		
SAU22	non	PT 2004	PT 2005	BH 2006	TH 2007 OP TP	TP/PFP 2008	BH 2009	TP 2010	L+D 2011	L+D 2012	
						ICP		ICP			
Beaufroid 12	non	BH 2004	OP 2005	L+D 2006	L+D 2007	L+D 2008	BH 2009	TH 2010	Av/F/TP/P 2011	BH 2012	
									ICP		
Beaufroid 11	non	BH 2004	OH 2005	L+D 2006	L+D 2007	BH 2008	OH 2009	TP/PFP 2010	BH 2011	TP 2012	
								Nav		ICP	
SAU11	non	OH 2004	TH 2005	OH 2006	AvP/FP 2007	BH 2008	TP 2009	L+D 2010	L+D 2011	L+D 2012	
					ICP		ICP				
Just L10	oui	TH 2004	L+D 2005	L+D 2006	L+D 2007	L+D 2008	BH 2009	TH 2010	AvP/FeP/TP/P 2011	BH 2012	
								ICH	ICP		
Just L20	oui	BH/TH 2004	L+D 2005	L+D 2006	L+D 2007	L+D 2008	BH 2009	TH 2010	AvP/FeP/TP/P 2011	BH 2012	
								ICH	ICP		
Just L30	oui	TH 2004	L+D 2005	L+D 2006	L+D 2007	L+D 2008	BH 2009	TH 2010	AvP/FeP/TP/P 2011	BH 2012	
								ICH	ICP		
PF21	non	BH 2004	OH 2005	TP 2006	L+D 2007	L+D 2008	L+D 2009	BH 2010	TH 2011	TP/P/Av/F 2012	
				ICP					ICH	ICP	
Rav5	oui	Mais Ens 2004	BH 2005	AvH/FeH 2006	TP/PFP 2007	BH 2008	TP 2009	L+D 2010	L+D 2011	L+D 2012	
					ICP		ICP				
Beau 13	non	BH 2004	OP 2005	BH 2006	LuP/OP 2007	BH 2008	TP 2009	L+D 2010	L+D 2011	L+D 2012	
					ICP		ICP				
C.Beau 11	non	Colza 2004	BH 2005	OP 2006	TP/PFP 2007	BH 2008	TP 2009	L+D 2010	L+D 2011	L+D 2012	
				ICP	ICP		ICP				
C.Beau 2	non	TP,FeP,P, 2004	BH 2005	OH 2006	L+D 2007	L+D 2008	L+D 2009	BH 2010	TH 2011	TP/P/Av/F 2012	
										ICP	
Rav 4	oui	Mais Ens 2004	TH/PFH/TP echec 2005	BH 2006	TP ech 2007	L+D 2008	L+D 2009	L+D 2010	BH 2011	TH 2012 TP	
					ICP					ICH	
PF23	non	BH 2004	OH 2005	TP 2006	BH 2007	SH 2008	AvP/FP 2009	BH 2010	SH 2011	L+D 2012	
				ICP			ICP	ICH	ICH		
PF24	non	BH 2004	OH 2005	TP 2006	BH 2007	SH 2008	AvP/FP 2009	BH 2010	SH 2011	L+D 2012	
				ICP			ICP		ICH		
PF22	non	BH 2004	OH 2005	TP 2006	BH 2007	SH 2008	AvP/FP 2009	BH 2010	SH 2011	L+D 2012	
				TB/TS			TR/ TR				

Jardin de Ravenel = Depuis 2005 (succession bonne depuis le début de la mise en place du système biologique)
=>rotation complète sur 8 ans

Petite Fin 31 = Depuis 2005 (succession bonne depuis le début de la mise en place du système biologique) =>rotation complète sur 8 ans

Justice A10 = Depuis 2005 (succession bonne depuis le début de la mise en place du système biologique) =>rotation complète sur 8 ans, mais pas 3 années successives de L+D

Justice A20 = Depuis 2005 (succession bonne depuis le début de la mise en place du système biologique) =>rotation complète sur 8 ans, mais pas 3 années successives de L+D

Justice A40 = Depuis 2005 (succession bonne depuis le début de la mise en place du système biologique) =>rotation complète sur 8 ans, mais pas 3 années successives de L+D

Saumnaumont 22 = Depuis 2005 (PT implantée en août 1998, succession bonne depuis le début de la mise en place du système biologique) =>rotation complète sur 8 ans pour une fraction de la parcelle (en 2007 TH 71%, OP 12% et TP 17%)

Beaufroid 12 = Depuis 2006 (précédent non conforme : OP sans ICP en 2005) =>rotation conforme sur 7ans

Beaufroid 11 = Depuis 2006 (précédent non conforme : OH en 2005) =>rotation conforme sur 7 ans

Saumnaumont 11 = Depuis 2006 (précédent non conforme : TH en 2005) =>rotation conforme sur 7ans

Justice L10 = Depuis 2006 (précédent non conforme : 4 années de PT (2005 à 2008)) =>rotation conforme sur 7ans, sauf une ICH non prévue dans la rotation type en 2010

Justice L20 = Depuis 2006 (précédent non conforme : 4 années de PT (2005 à 2008)) =>rotation conforme sur 7ans, sauf une ICH non prévue dans la rotation type en 2010

Justice L30 = Depuis 2006 (précédent non conforme : 4 années de PT (2005 à 2008)) =>rotation conforme sur 7ans, sauf une ICH non prévue dans la rotation type en 2010

Petite Fin 21 = Depuis 2006 (précédent non conforme : OH en 2005) =>rotation conforme sur 7ans, sauf une ICH non prévue dans la rotation type en 2011

Ravenel 5 = Depuis 2007 (précédent non conforme : AvH/FeH en 2006) => rotation conforme sur 6 ans

Beaufroid 13 = Depuis 2007 (précédent non conforme : BH en 2006) =>rotation conforme sur 6ans

Colline Beaufroid 11 = Depuis 2007 (précédent non conforme : OP+IC en 2006) =>rotation conforme sur 6ans

Colline Beaufroid 2 = Depuis 2007 (précédent non conforme : OH en 2006) =>rotation conforme sur 6ans

Ravenel 4 = Depuis 2008 (précédent non conforme : TP en échec après ICP en 2007) =>rotation conforme sur 5 ans pour une fraction de la parcelle (TH sur 25%, TP sur 75%), sauf ICH non prévue dans la rotation type en 2012

Petite Fin 23 = Depuis 2007 (précédent non conforme : TP+ ICP en 2006) =>rotation conforme sur 6 ans, sauf une ICH en plus en 2010 et SH+ICH en 2011 au lieu de CSP+ICP) => Parcelle en TCS

Petite Fin 24 = Depuis 2007 (précédent non conforme : TP+ICP en 2006) =>rotation conforme sur 6 ans, sauf SH+ICH en 2011 au lieu de CSP+ICP => Parcelle en TCS

Petite Fin 22 => Parcelle particulière en permaculture

Annexe 5 : Règles d'attribution de valeur pour les éléments sans données

Pour la fixation symbiotique (p 17) :

Attribution des moyennes des taux de légumineuse aux récoltes avec deux cas de figure présentés :

→ Pour les années 2010 à 2012, on dispose de données sur les taux de légumineuse : les valeurs manquantes sont complétées par des moyennes du même type de couvert c'est-à-dire Luzerne-Dactyle (L+D) et Luzerne-Graminées (L+G) pour les rotations de 8 ans, Prairie Temporaire sans Luzerne (PT) pour les rotations de 6 ans et Prairie Permanente (PP) tout en respectant le numéro de coupe et l'année de la prairie.

→ Pour les années 2005 à 2009, sans valeur de la composition en légumineuse, a été prise en compte la moyenne des types de couvert et numéros de coupe des années avec valeurs, soit les valeurs de 2010 à 2012.

Pour les valeurs manquantes liées au « pâturage », deux périodes de pâturage ont été distinguées, printemps et été-automne :

→ Pour les années 2009 à 2012, les taux de légumineuse manquants sont issus des moyennes des résultats des poignées (attribution d'une note de 1 à 6 pour les graminées et les légumineuses avec dix répétitions, soit un total sur 60 transposable en pourcentage) tout en respectant le couvert, la période de pâturage, le numéro de coupe et l'année de la prairie. Concernant les coupes de printemps des luzernes, le taux défini correspond au pourcentage de légumineuse le plus faible des luzernes car aucune donnée n'est disponible pour les coupes de printemps.

→ Pour 2005 à 2008 on se base sur les moyennes des années avec données tout en distinguant les deux périodes de pâturage, les couverts, les numéros de coupe et les années des prairies.

Pour la fixation des CI :

Pour les années sans données, une moyenne des biomasses par espèces des années avec données a été retenue. Cependant pour les parcelles Justice A10/20/40 et L10/20/30, une extrapolation des données des PF situés sur les parcelles A20 et L10 a été faite sur les autres parcelles.

Pour les espèces non renseignées comme la Gesse, l'espèce la plus proche a été prise en compte et donc ici la Vesce (Thierry, comm. pers.).

Pour les semences (p 19) :

Pour attribuer une valeur aux semences qui ne sont pas présentes dans les tables, nous avons recherché l'espèce la plus proche, afin de la prendre comme référence. Par exemple pour la navette qui est de la famille des crucifères les valeurs du colza sont prises en compte et pour le nyger de la famille du tournesol (Chambre d'agriculture du Puy-de-Dôme, 2010) les valeurs du tournesol ont donc été retenues comme valeurs de référence. Pour la luzerne, la vesce a été retenue car c'est une légumineuse et pour les graminées l'avoine car son C/N est plus proche des plantes fourragères (Foissy, comm. pers.).

Pour les récoltes de fourrages :

Pour les éléments P et K (p 20)

Le calcul appliqué aux résultats d'analyses disponibles (pâturage et récoltes) afin d'obtenir une valeur d'analyse pour les récoltes seulement a été :

$$E.réc = (valeur E.pât+réc - \%pât.echant \times valeur.moy.pât E) / \%réc.echant$$

Avec : E réc = valeur de l'élément E (P ou K) de la récolte

Valeur E pât+réc = valeur E (P ou K) de l'analyse issue d'un mélange de pâturage et de récolte

% pâtechant = pourcentage du pâturage dans l'échantillon d'analyse pâturage et récolte

Valeur moypât E = valeur moyenne de E (P ou K) correspondant aux analyses issues d'échantillon de pâturage seul

%récechant = pourcentage des récoltes dans l'échantillon d'analyse pâturage et récolte.

Annexe 6 : Résultats annuels de N

SDC	Parcelle	Confo	Surf	Cult	Entrées										Sorties				Tot sorties	Solde
					Dép atm	Fixation symb					Ferti	Sem	Tot entr	Réc Fou	Réc cér/prot G	Réc cér/prot P	Tot G+P			
						Cult. Int	Prairies		LuzX	Cult										
							PP	PT												
6H	Colline Beauroid 12	C	2,68	TH	13	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	20	5	25	25	-12
6H	Haut des Vignes 31	C	3,26	PT	13	0	0	22	0	0	0	0	0	34	1	0	0	0	1	33
6H	Haut du Bois 3	C	2,77	PT	13	0	0	123	0	0	0	0	0	136	64	0	0	0	64	72
6H	Haut du Bois 4	C	4,23	PT	13	0	0	116	0	0	3	0	0	132	84	0	0	0	84	48
6H	Haut du Bois 5	C	1,89	BH	13	0	0	0	0	0	0	3	0	16	0	34	38	72	72	-56
6H	Justice 8	C	2,20	PT	13	0	0	196	0	0	17	1	0	228	87	0	0	0	87	141
6H	Justice 9	C	2,13	TH	13	0	0	0	0	0	0	3	0	16	0	30	13	42	42	-27
6H	Moine 4	C	3,42	SH	13	0	0	0	0	0	0	2	0	15	0	38	19	57	57	-42
6H	Petite Fin 1	C	3,57	TH	13	0	0	0	0	0	0	3	0	16	0	23	8	31	31	-14
6H	Ravenel 33	C	2,23	BH	13	0	0	0	0	0	0	4	0	16	0	34	9	43	43	-27
6H	Saumnaumont 21	C	2,11	TH	13	0	0	0	0	0	0	4	0	16	0	26	9	36	36	-20
6P	Domvallier 1	C	1,91	PT	13	0	0	43	0	0	0	0	0	56	61	0	0	0	61	-5
6P	Domvallier 2	C	1,96	TP + CI	13	9	0	0	0	0	0	8	0	30	0	56	14	70	70	-40
6P	Haut du Bois 1	C	2,60	PT	13	0	0	129	0	0	0	1	0	142	85	0	0	0	85	58
6P	Haut du Bois 2	C	2,72	SH	13	0	0	0	0	0	0	2	0	15	0	36	14	50	50	-35
6P	Ravenel 11	C	3,03	PT	13	0	0	98	0	0	7	0	0	118	40	0	0	0	40	78
6P	Ravenel 12	C	2,90	PT	13	0	0	39	0	0	10	0	0	62	38	0	0	0	38	24
6P	Ravenel 3	C	3,03	SH	13	0	0	0	0	0	0	2	0	15	0	45	18	63	63	-48
8H	Justice 2	C	1,74	Ep	13	0	0	0	0	0	270	3	0	285	0	38	9	48	48	238
8H	Justice 7	C	1,95	BH	13	0	0	0	0	0	0	3	0	16	0	31	9	40	40	-24
8H	Moine 5	C	3,47	L+G	13	0	0	0	85	0	0	0	0	98	50	0	0	0	50	48
8H	P Etang 2	C	2,55	OH	13	0	0	0	0	0	0	4	0	16	0	34	12	46	46	-30
8P	Beaufroid 11	C	3,00	TP+CI	13	9	0	0	0	0	0	5	0	27	0	23	5	27	27	-1
8P	Beaufroid 12	C	4,72	BH	13	0	0	0	0	0	152	3	0	168	0	19	6	25	25	143
8P	Beaufroid 13	C	2,84	L+D	13	0	0	0	18	0	0	1	0	32	16	0	0	0	16	16
8P	Colline Beauroid 11	C	2,98	L+D	13	0	0	0	43	0	0	0	0	55	69	0	0	0	69	-14
8P	Colline Beauroid 2	C	3,86	F + CI	13	0	0	0	147	0	0	6	0	166	0	109	13	122	122	44
8P	Jardin de Ravenel	C	1,55	BH	13	0	0	0	0	0	0	4	0	16	0	41	15	56	56	-40
8P	Justice A10	C	0,37	L+G	13	0	0	0	123	0	0	1	0	137	136	0	0	0	136	1
8P	Justice A20	C	0,79	L+G	13	0	0	0	138	0	0	1	0	152	136	0	0	0	136	16
8P	Justice A40	C	1,31	L+G	13	0	0	0	58	0	0	3	0	74	53	0	0	0	53	21
8P	Justice L10	C	1,76	BH	13	0	0	0	0	0	206	4	0	222	0	27	11	37	37	185
8P	Justice L20	C	1,74	BH	13	0	0	0	0	0	215	3	0	231	0	33	11	45	45	187
8P	Justice L30	C	1,40	BH	13	0	0	0	0	0	222	3	0	238	0	40	16	56	56	182
8P	Petite Fin 21	C	2,41	F + CI	13	3	0	0	0	204	0	10	0	230	0	154	18	172	172	58
8P	Petite Fin 22	Perm	0,42	L+G	13	0	0	0	27	0	0	1	0	41	82	0	0	0	82	-41
8P	Petite Fin 23	C	1,70	L+G	13	0	0	0	138	0	0	1	0	151	145	0	0	0	145	6
8P	Petite Fin 24	C	1,65	L+G	13	0	0	0	102	0	0	1	0	116	118	0	0	0	118	-2
8P	Petite Fin 31	C	2,71	TH	13	0	0	0	0	0	90	4	0	106	0	21	8	28	28	78
8P	Ravenel 4	C	2,90	CIH	13	0	0	0	0	0	0	16	0	28	0	12	6	17	17	11
8P	Ravenel 5	C	2,69	L+D	13	0	0	0	14	0	0	2	0	29	20	0	0	0	20	9
8P	Saumnaumont 11	C	4,52	L+D	13	0	0	0	26	0	0	1	0	40	36	0	0	0	36	4
8P	Saumnaumont 22	C	2,05	L+G	13	0	0	0	30	0	0	0	0	43	58	0	0	0	58	-15
PP	Chemin Etang 4		0,05	PP	13	0	0	6	0	0	0	0	0	19	0	0	0	0	0	19
PP	Chemin Justices 7-8		0,10	PP	13	0	0	27	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	40
PP	Haut des Vignes 30		1,21	PP	13	0	0	27	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	40
PP	Haut des Vignes 33		1,81	PP	13	0	0	19	0	0	81	0	0	113	0	0	0	0	0	113
PP	Haut des Vignes 4		2,68	PP	13	0	0	23	0	0	87	0	0	122	0	0	0	0	0	122
PP	Joess		0,57	PP	13	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	13
PP	Joly 1		1,52	PP	13	0	0	32	0	0	0	0	0	45	5	0	0	0	5	39
PP	Joly 10		1,37	PP	13	0	0	48	0	0	0	0	0	61	3	0	0	0	3	58
PP	Joly 2		1,92	PP	13	0	0	22	0	0	0	0	0	34	12	0	0	0	12	22
PP	Justice 1		1,67	PP	13	0	0	23	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	36
PP	Justice 10		2,27	PP	13	0	0	17	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	30
PP	Justice 121		1,61	PP	13	0	0	50	0	0	0	0	0	62	22	0	0	0	22	41
PP	Justice 122		2,90	PP	13	0	0	19	0	0	91	0	0	123	56	0	0	0	56	67
PP	Marchande 11		1,74	PP	13	0	0	30	0	0	103	0	0	146	54	0	0	0	54	92
PP	Marchande 12		0,78	PP	13	0	0	17	0	0	28	0	0	58	45	0	0	0	45	13
PP	Moine 1		2,02	PP	13	0	0	31	0	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	44
PP	Moine 21		5,86	PP	13	0	0	20	0	0	54	0	0	86	31	0	0	0	31	55
PP	Moine 22		7,00	PP	13	0	0	27	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	40
PP	Moine 3		3,65	PP	13	0	0	27	0	0	76	0	0	116	60	0	0	0	60	55
PP	Moine 6		1,90	PP	13	0	0	29	0	0	80	0	0	122	43	0	0	0	43	79
PP	P Etang 3		2,48	PP	13	0	0	33	0	0	9	0	0	54	3	0	0	0	3	51
PP	P Etang 4		2,36	PP	13	0	0	31	0	0	58	0	0	101	5	0	0	0	5	96
PP	Pommiers		0,79	PP	13	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	13
PP	Ravenel 6		2,24	PP	13	0	0	47	0	0	60	0	0	120	2	0	0	0	2	118
PP	Saumnaumont 12		0,71	PP	13	0	0	23	0	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	35
PP	Terrain de Foot		1,09	PP	13	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	13
PP	Joly 8-9 bas		1,53	PP	13	0	0	48	0	0	0	0	0	61	7	0	0	0	7	53
PP	Joly 8-9 haut		1,63	PP	13	0	0	47	0	0	0	0	0	59	12	0	0	0	12	47

Annexe 7 : Résultats annuels de P

SDC	Parcelle	confo	Surf	Cult	Entrées			Sorties				Tot sorties	Solde
					Fertilisation	Semences	Tot entrées	Récoltes Fourrages	Récoltes céréales/prot grain	Récoltes céréales/prot paille	total G+P		
6H	Colline Beaufroid 12	C	2,68	TH	0	1	1	0	5	2	7	7	-6
6H	Haut des Vignes 31	C	3,26	PT	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6H	Haut du Bois 3	C	2,77	PT	0	0	0	9	0	0	0	9	-9
6H	Haut du Bois 4	C	4,23	PT	6	0	6	12	0	0	0	12	-6
6H	Haut du Bois 5	C	1,89	BH	0	1	1	0	7	11	18	18	-17
6H	Justice 8	C	2,20	PT	7	0	7	10	0	0	0	10	-2
6H	Justice 9	C	2,13	TH	0	1	1	0	6	2	8	8	-7
6H	Moine 4	C	3,42	SH	0	0	0	0	8	2	10	10	-9
6H	Petite Fin 1	C	3,57	TH	0	1	1	0	5	4	9	9	-9
6H	Ravenel 33	C	2,23	BH	0	1	1	0	6	5	11	11	-11
6H	Saumnaumont 21	C	2,11	TH	0	1	1	0	6	2	8	8	-7
6P	Domvallier 1	C	1,91	PT	0	0	0	8	0	0	0	8	-8
6P	Domvallier 2	C	1,96	TP + CI	0	2	2	0	12	6	18	18	-16
6P	Haut du Bois 1	C	2,60	PT	0	0	0	12	0	0	0	12	-12
6P	Haut du Bois 2	C	2,72	SH	0	1	1	0	9	3	13	13	-12
6P	Ravenel 11	C	3,03	PT	6	0	6	7	0	0	0	7	-1
6P	Ravenel 12	C	2,90	PT	9	0	9	5	0	0	0	5	4
6P	Ravenel 3	C	3,03	SH	0	0	0	0	11	3	14	14	-13
8H	Justice 2	C	1,74	Ep	54	1	55	0	8	3	11	11	44
8H	Justice 7	C	1,95	BH	0	1	1	0	6	5	12	12	-11
8H	Moine 5	C	3,47	L+G	0	0	0	5	0	0	0	5	-5
8H	P Etang 2	C	2,55	OH	0	1	1	0	10	4	14	14	-13
8P	Beaufroid 11	C	3,00	TP+CI	0	1	1	0	5	2	8	8	-7
8P	Beaufroid 12	C	4,72	BH	0	1	1	0	4	2	6	6	-6
8P	Beaufroid 13	C	2,84	L+D	0	0	0	4	0	0	0	4	-3
8P	Colline Beaufroid 11	C	2,98	L+D	0	0	0	13	0	0	0	13	-13
8P	Colline Beaufroid 2	C	3,86	TP/P/AvF + CI	0	1	1	0	16	1	17	17	-16
8P	Jardin de Ravenel	C	1,55	BH	0	1	1	0	8	9	16	16	-15
8P	Justice A10	C	0,37	L+G	0	0	0	23	0	0	0	23	-22
8P	Justice A20	C	0,79	L+G	0	0	0	23	0	0	0	23	-23
8P	Justice A40	C	1,31	L+G	0	0	0	11	0	0	0	11	-11
8P	Justice L10	C	1,76	BH	44	1	45	0	5	3	8	8	37
8P	Justice L20	C	1,74	BH	46	1	47	0	6	3	9	9	38
8P	Justice L30	C	1,40	BH	48	1	48	0	7	6	13	13	36
8P	Petite Fin 21	C	2,41	TP/P/AvF + CI	0	2	2	0	23	2	25	25	-23
8P	Petite Fin 22	Perm	0,42	L+G	0	0	0	14	0	0	0	14	-14
8P	Petite Fin 23	C	1,70	L+G	0	0	0	25	0	0	0	25	-25
8P	Petite Fin 24	C	1,65	L+G	0	0	0	18	0	0	0	18	-18
8P	Petite Fin 31	C	2,71	TH	23	1	24	0	5	2	7	7	17
8P	Ravenel 4	C	2,90	TH/TP + CIH	0	3	3	0	2	2	5	5	-2
8P	Ravenel 5	C	2,69	L+D	0	0	0	5	0	0	0	5	-5
8P	Saumnaumont 11	C	4,52	L+D	0	0	0	7	0	0	0	7	-6
8P	Saumnaumont 22	C	2,05	L+G	0	0	0	14	0	0	0	14	-14
PP	Chemin Etang 4		0,05	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Chemin Justices 7-8		0,10	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Haut des Vignes 30		1,21	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Haut des Vignes 33		1,81	PP	41	0	41	0	0	0	0	41	41
PP	Haut des Vignes 4		2,68	PP	47	0	47	0	0	0	0	47	47
PP	Joess		0,57	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Joly 1		1,52	PP	0	0	0	1	0	0	0	1	-1
PP	Joly 10		1,37	PP	0	0	0	1	0	0	0	1	-1
PP	Joly 2		1,92	PP	0	0	0	2	0	0	0	2	-2
PP	Justice 1		1,67	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Justice 10		2,27	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Justice 121		1,61	PP	0	0	0	5	0	0	0	5	-5
PP	Justice 122		2,90	PP	61	0	61	10	0	0	0	10	51
PP	Marchande 11		1,74	PP	56	0	56	12	0	0	0	12	44
PP	Marchande 12		0,78	PP	19	0	19	11	0	0	0	11	8
PP	Moine 1		2,02	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Moine 21		5,86	PP	32	0	32	7	0	0	0	7	25
PP	Moine 22		7,00	PP	23	0	23	0	0	0	0	0	23
PP	Moine 3		3,65	PP	0	0	0	9	0	0	0	9	-9
PP	Moine 6		1,90	PP	41	0	41	10	0	0	0	10	31
PP	P Etang 3		2,48	PP	7	0	7	1	0	0	0	1	7
PP	P Etang 4		2,36	PP	49	0	49	1	0	0	0	1	48
PP	Pommiers		0,79	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Ravenel 6		2,24	PP	41	0	41	0	0	0	0	0	40
PP	Saumnaumont 12		0,71	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Terrain de Foot		1,09	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Joly 8-9 bas		1,53	PP	0	0	0	1	0	0	0	1	-1
PP	Joly 8-9 haut		1,63	PP	0	0	0	2	0	0	0	2	-2

Annexe 8 : Résultats annuels de K

SDC	Parcelle	confo	Surface	Culture en place	Entrées			Sorties				Tot sorties	Solde
					Fertilisation	Semences	Tot entrées	Récoltes Fourrages	Récoltes céréales/prot grain	Récoltes céréales/prot paille	total G+P		
6H	Colline Beaufroid 12	C	2,68	TH	0	0	0	0	6	10	16	16	-16
6H	Haut des Vignes 31	C	3,26	PT	0	0	0	1	0	0	0	1	-1
6H	Haut du Bois 3	C	2,77	PT	0	0	0	77	0	0	0	77	-77
6H	Haut du Bois 4	C	4,23	PT	9	0	9	87	0	0	0	87	-79
6H	Haut du Bois 5	C	1,89	BH	0	1	1	0	8	66	74	74	-73
6H	Justice 8	C	2,20	PT	70	0	70	122	0	0	0	122	-52
6H	Justice 9	C	2,13	TH	0	1	1	0	7	30	37	37	-37
6H	Moine 4	C	3,42	SH	0	1	1	0	14	38	52	52	-51
6H	Petite Fin 1	C	3,57	TH	0	1	1	0	7	18	25	25	-24
6H	Ravenel 33	C	2,23	BH	0	1	1	0	6	27	33	33	-32
6H	Saunnaumont 21	C	2,11	TH	0	1	1	0	8	20	28	28	-27
6P	Domvallier 1	C	1,91	PT	0	0	0	46	0	0	0	46	-46
6P	Domvallier 2	C	1,96	TP + Cl	0	2	2	0	16	40	55	55	-53
6P	Haut du Bois 1	C	2,60	PT	0	0	0	109	0	0	0	109	-109
6P	Haut du Bois 2	C	2,72	SH	0	1	1	0	15	37	53	53	-52
6P	Ravenel 11	C	3,03	PT	12	0	12	42	0	0	0	42	-30
6P	Ravenel 12	C	2,90	PT	18	0	18	40	0	0	0	40	-23
6P	Ravenel 3	C	3,03	SH	0	1	1	0	18	43	61	61	-60
8H	Justice 2	C	1,74	Ep	395	1	396	0	9	17	26	26	370
8H	Justice 7	C	1,95	BH	0	1	1	0	6	18	24	24	-24
8H	Moine 5	C	3,47	L+G	0	0	0	61	0	0	0	61	-61
8H	P Etang 2	C	2,55	OH	0	1	1	0	13	38	51	51	-50
8P	Beaufroid 11	C	3,00	TP+Cl	0	1	1	0	8	13	20	20	-19
8P	Beaufroid 12	C	4,72	BH	169	1	169	0	4	12	16	16	153
8P	Beaufroid 13	C	2,84	L+D	0	0	0	24	0	0	0	24	-24
8P	Colline Beaufroid 11	C	2,98	L+D	0	0	0	94	0	0	0	94	-94
8P	Colline Beaufroid 2	C	3,86	TP/P/AVF + Cl	0	2	2	0	31	23	53	53	-52
8P	Jardin de Ravenel	C	1,55	BH	0	1	1	0	7	44	51	51	-50
8P	Justice A10	C	0,37	L+G	0	0	0	234	0	0	0	234	-233
8P	Justice A20	C	0,79	L+G	0	0	0	234	0	0	0	234	-234
8P	Justice A40	C	1,31	L+G	0	1	1	116	0	0	0	116	-115
8P	Justice L10	C	1,76	BH	262	1	263	0	5	23	29	29	235
8P	Justice L20	C	1,74	BH	274	1	275	0	7	25	32	32	243
8P	Justice L30	C	1,40	BH	283	1	284	0	6	33	39	39	245
8P	Petite Fin 21	C	2,41	TP/P/AVF + Cl	0	3	3	0	40	57	97	97	-94
8P	Petite Fin 22	Perm	0,42	L+G	0	0	0	107	0	0	0	107	-106
8P	Petite Fin 23	C	1,70	L+G	0	0	0	227	0	0	0	227	-226
8P	Petite Fin 24	C	1,65	L+G	0	0	0	179	0	0	0	179	-179
8P	Petite Fin 31	C	2,71	TH	54	1	55	0	7	16	23	23	32
8P	Ravenel 4	C	2,90	TH/TP + ClH	0	4	4	0	3	12	14	14	-10
8P	Ravenel 5	C	2,69	L+D	0	0	0	29	0	0	0	29	-29
8P	Saunnaumont 11	C	4,52	L+D	0	0	0	50	0	0	0	50	-50
8P	Saunnaumont 22	C	2,05	L+G	0	0	0	87	0	0	0	87	-87
PP	Chemin Etang 4		0,05	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Chemin Justices 7-8		0,10	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Haut des Vignes 30		1,21	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Haut des Vignes 33		1,81	PP	81	0	81	0	0	0	0	81	81
PP	Haut des Vignes 4		2,68	PP	104	0	104	0	0	0	0	104	104
PP	Joess		0,57	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Joly 1		1,52	PP	0	0	0	7	0	0	0	7	-7
PP	Joly 10		1,37	PP	0	0	0	4	0	0	0	4	-4
PP	Joly 2		1,92	PP	0	0	0	16	0	0	0	16	-16
PP	Justice 1		1,67	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Justice 10		2,27	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Justice 121		1,61	PP	0	0	0	39	0	0	0	39	-39
PP	Justice 122		2,90	PP	107	0	107	104	0	0	0	104	3
PP	Marchande 11		1,74	PP	112	0	112	84	0	0	0	84	27
PP	Marchande 12		0,78	PP	38	0	38	82	0	0	0	82	-44
PP	Moine 1		2,02	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Moine 21		5,86	PP	62	0	62	56	0	0	0	56	6
PP	Moine 22		7,00	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Moine 3		3,65	PP	87	0	87	107	0	0	0	107	-20
PP	Moine 6		1,90	PP	81	0	81	78	0	0	0	78	2
PP	P Etang 3		2,48	PP	14	0	14	4	0	0	0	4	10
PP	P Etang 4		2,36	PP	110	0	110	6	0	0	0	6	104
PP	Pommiers		0,79	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Ravenel 6		2,24	PP	99	0	99	3	0	0	0	3	96
PP	Saunnaumont 12		0,71	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Terrain de Foot		1,09	PP	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PP	Joly 8-9 bas		1,53	PP	0	0	0	10	0	0	0	10	-10
PP	Joly 8-9 haut		1,63	PP	0	0	0	16	0	0	0	16	-16

Annexe 9 : Résultats des soldes pluriannuels pour N

SDC	Parcelle	Surf	Entrées										Sorties				Solde
			Dépositon at	Cult. Int	Fixation symb			Cult	Fertilisation	Semis	Tot entrées	Réc Fou	Réc Grain (G)	Réc Paille (P)	Tot G+P	Tot sorties	
					PP	PT	LuzX										
6H	Haut des Vignes 31	3,26	73	0	0	203	0	0	148	8	432	58	159	36	195	253	179
6H	Haut du Bois 3	2,77	73	0	0	604	0	0	112	11	800	345	91	26	117	462	338
6H	Haut du Bois 4	4,23	73	0	0	463	0	0	109	10	655	197	108	34	142	340	315
6H	Justice 8	2,20	73	0	0	382	0	0	183	11	648	114	120	22	142	256	392
6H	Justice 9	2,13	73	0	0	322	0	0	16	10	421	0	117	47	164	164	257
6H	Moine 4	3,42	73	0	0	343	0	0	153	9	578	209	178	47	225	434	144
6H	Ravenel 33	2,23	73	0	0	285	0	0	116	11	486	12	63	16	79	91	395
6P	Dormvallier 1	1,91	73	0	0	291	0	0	109	10	483	161	148	44	193	353	130
6P	Dormvallier 2	1,96	73	9	0	319	0	0	13	15	429	162	189	54	243	405	24
6P	Haut du Bois 1	2,60	73	2	0	478	0	0	1	16	571	181	82	16	98	279	292
6P	Haut du Bois 2	2,72	73	30	0	580	0	0	1	12	696	187	149	42	191	378	318
6P	Ravenel 11	3,03	73	0	0	332	0	0	7	11	424	105	216	67	283	388	36
6P	Ravenel 12	2,90	73	0	0	304	0	0	18	9	404	104	154	38	192	296	108
6P	Ravenel 3	3,03	73	2	0	159	0	0	9	12	254	24	187	42	228	253	1
8P	Jardin de Ravenel	1,55	101	3	0	0	620	18	0	20	761	960	166	51	217	1177	-416
8P	Justice A10	0,37	101	37	0	0	280	47	293	22	780	385	132	25	157	542	238
8P	Justice A20	0,79	101	38	0	0	380	50	299	23	890	548	145	39	184	732	158
8P	Justice A40	1,31	101	38	0	0	227	51	252	24	693	322	119	37	156	478	215
8P	Petite Fin 31	2,71	101	6	0	0	275	52	322	23	778	366	169	44	213	579	199

		cumul 2005 à 2012						
Parcelle PP	Surface	Entrées					Sortie récoltes	Solde
		Dép at	Fixation symb	Fertilisation	Semis	Tot Entrées		
Haut des Vignes 30	1,21	101	341	137	0	578	0	578
Haut des Vignes 33	1,81	101	311	530	0	942	53	889
Haut des Vignes 4	2,68	101	308	498	0	906	120	786
Joess	0,57	64	203	0	0	267	466	-199
Justice 121	1,61	101	379	3	0	483	65	418
Justice 122	2,90	101	391	578	0	1070	386	684
Marchande 11	1,74	101	282	639	0	1021	336	685
Marchande 12	0,78	101	229	520	0	850	328	522
Moine 1	2,02	101	383	75	0	559	56	503
Moine 21	5,86	101	234	484	0	819	283	537
Moine 22	7,00	101	298	233	0	631	170	461
Moine 3	3,65	101	268	461	0	829	346	483
Moine 6	1,90	101	334	504	0	939	340	599
Pommiers	0,79	64	152	0	0	216	273	-57
Saunnaumont 12	0,71	101	250	0	1	352	202	149
Terrain de Foot	1,09	64	178	0	0	241	314	-73
Chemin Etang 4	0,05	101	92	0	0	193	0	193
Chemin Justices 7-8	0,10	101	450	0	0	551	0	551
Joly 1	1,52	101	434	2	0	536	78	458
Joly 10	1,37	101	483	8	0	591	56	535
Joly 2	1,92	101	364	22	0	487	18	468
Justice 1	1,67	101	327	0	0	428	0	428
Justice 10	2,27	101	357	23	0	480	0	480
P Etang 3	2,48	101	332	192	0	625	25	600
P Etang 4	2,36	101	368	282	0	751	122	629
Ravenel 6	2,24	101	485	60	0	646	90	556
Joly 8-9 bas	1,53	37	171	0	0	208	7	201
Joly 8-9 haut	1,63	37	174	0	0	211	30	181

Annexe 10 : Résultats des soldes pluriannuels pour P

SDC	Parcelle	Surface	cumul 2005-2012								Solde
			Entrées			Sorties				Tot sorties	
			Fertilisation	Semis	Tot entrées	Rec fou	Rec G	Rec P	total G+P		
6H	Haut des Vignes 31	3,26	21	2	23	9	37	10	46	55	-32
6H	Haut du Bois 3	2,77	26	2	28	45	22	5	27	72	-44
6H	Haut du Bois 4	4,23	31	2	33	24	26	6	32	56	-23
6H	Justice 8	2,20	51	2	53	11	30	3	33	44	9
6H	Justice 9	2,13	3	2	5	0	29	7	36	36	-31
6H	Moine 4	3,42	32	2	34	31	33	4	37	69	-35
6H	Ravenel 33	2,23	30	3	32	2	14	7	21	23	10
6P	Domvallier 1	1,91	29	2	31	25	32	10	41	66	-36
6P	Domvallier 2	1,96	1	3	4	36	40	13	54	90	-86
6P	Haut du Bois 1	2,60	0	3	4	24	16	3	19	43	-40
6P	Haut du Bois 2	2,72	0	2	3	24	33	9	42	66	-63
6P	Ravenel 11	3,03	6	2	8	19	41	17	57	77	-68
6P	Ravenel 12	2,90	9	2	11	16	35	7	43	59	-48
6P	Ravenel 3	3,03	2	2	4	4	42	8	50	54	-50
8P	Jardin de Ravenel	1,55	0	4	4	139	37	18	56	195	-191
8P	Justice A10	0,37	71	4	76	62	28	5	33	95	-19
8P	Justice A20	0,79	73	4	77	86	31	8	39	125	-47
8P	Justice A40	1,31	61	5	65	59	26	7	32	91	-26
8P	Petite Fin 31	2,71	85	4	89	65	36	10	46	110	-21

Parcelle	Surface	cumul 2005-2012					Solde
		Entrées			Sorties		
		Fertilisation	Semis	Tot entrées	Rec fou		
Chemin Etang 4	0,05	0	0	0	0	0	
Chemin Justices 7-8	0,10	0	0	0	0	0	
Haut des Vignes 30	1,21	48	0	48	0	48	
Haut des Vignes 33	1,81	156	0	156	15	141	
Haut des Vignes 4	2,68	140	0	140	23	116	
Joess	0,57	0	0	0	105	-105	
Joly 1	1,52	0	0	0	10	-10	
Joly 10	1,37	0	0	0	10	-9	
Joly 2	1,92	3	0	3	3	0	
Justice 1	1,67	0	0	0	0	0	
Justice 10	2,27	2	0	2	0	2	
Justice 121	1,61	1	0	1	13	-12	
Justice 122	2,90	169	0	169	71	98	
Marchande 11	1,74	195	0	195	66	129	
Marchande 12	0,78	149	0	149	63	85	
Moine 1	2,02	19	0	19	11	8	
Moine 21	5,86	141	0	141	66	75	
Moine 22	7,00	93	0	93	46	47	
Moine 3	3,65	93	0	93	72	21	
Moine 6	1,90	148	0	148	74	74	
P Etang 3	2,48	34	0	34	4	30	
P Etang 4	2,36	84	0	84	15	69	
Pommiers	0,79	0	0	0	74	-74	
Ravenel 6	2,24	41	0	41	12	28	
Saunnaumont 12	0,71	0	0	0	33	-33	
Terrain de Foot	1,09	0	0	0	88	-88	
Joly 8-9 bas	1,53	0	0	0	1	-1	
Joly 8-9 haut	1,63	0	0	0	5	-5	

Annexe 11 : Résultats des soldes pluriannuels pour K

SDC	Parcelle	Surface	cumul 2005-2012								Tot sorties	Solde
			Entrées		Tot entrées	Sorties			total G+P			
			Fertilisation	Semis		Réc Fou	Réc G	Réc P				
6H	Haut des Vignes 31	3,26	156	2	158	69	43	85	128	197	-39	
6H	Haut du Bois 3	2,77	160	3	163	464	28	44	72	536	-373	
6H	Haut du Bois 4	4,23	164	3	167	208	35	62	97	305	-138	
6H	Justice 8	2,20	398	3	401	131	31	31	63	194	207	
6H	Justice 9	2,13	79	3	82	0	38	65	104	104	-22	
6H	Moine 4	3,42	131	3	134	142	43	69	112	255	-121	
6H	Ravenel 33	2,23	263	3	266	13	15	38	53	66	200	
6P	Domvallier 1	1,91	223	3	226	161	38	104	142	303	-77	
6P	Domvallier 2	1,96	15	4	19	215	50	86	136	350	-331	
6P	Haut du Bois 1	2,60	3	4	7	228	18	30	48	276	-269	
6P	Haut du Bois 2	2,72	2	4	6	237	40	87	127	364	-358	
6P	Ravenel 11	3,03	12	3	15	133	48	153	201	334	-319	
6P	Ravenel 12	2,90	42	2	44	105	46	83	129	234	-190	
6P	Ravenel 3	3,03	45	3	48	31	53	91	144	174	-126	
8P	Jardin de Ravenel	1,55	0	5	5	1367	45	103	147	1515	-1510	
8P	Justice A10	0,37	469	6	475	557	33	41	74	631	-156	
8P	Justice A20	0,79	479	6	485	775	32	68	100	875	-390	
8P	Justice A40	1,31	372	6	378	517	29	60	90	607	-229	
8P	Petite Fin 31	2,71	386	5	391	572	44	73	118	690	-299	

Parcelle	Surface	cumul 2005-2012					Solde
		Entrées		Tot entrées	Sorties		
		Fertilisation	Semences		Récoltes	Fourrages	
Chemin Etang 4	0,05	0	0	0	0	0	0
Chemin Justices 7-8	0,10	0	0	0	0	0	0
Haut des Vignes 30	1,21	210	0	210	0	210	0
Haut des Vignes 33	1,81	613	0	613	100	513	0
Haut des Vignes 4	2,68	697	0	697	138	559	0
Joess	0,57	0	0	0	805	-805	0
Joly 1	1,52	12	0	12	85	-73	0
Joly 10	1,37	26	0	26	72	-47	0
Joly 2	1,92	84	0	84	24	60	0
Justice 1	1,67	0	0	0	0	0	0
Justice 10	2,27	79	0	79	0	79	0
Justice 121	1,61	14	0	14	99	-86	0
Justice 122	2,90	812	0	812	628	184	0
Marchande 11	1,74	855	0	855	484	372	0
Marchande 12	0,78	668	0	668	492	176	0
Moine 1	2,02	151	0	151	82	70	0
Moine 21	5,86	731	0	732	508	224	0
Moine 22	7,00	412	0	412	352	60	0
Moine 3	3,65	626	0	626	591	35	0
Moine 6	1,90	753	0	753	570	183	0
P Etang 3	2,48	560	0	560	33	527	0
P Etang 4	2,36	1043	0	1043	162	881	0
Pommiers	0,79	0	0	0	567	-567	0
Ravenel 6	2,24	99	0	99	94	5	0
Saumnaumont 12	0,71	0	0	0	262	-262	0
Terrain de Foot	1,09	0	0	0	676	-676	0
Joly 8-9 bas	1,53	0	0	0	10	-10	0
Joly 8-9 haut	1,63	0	0	0	39	-39	0