

Université Libre de Bruxelles
Institut de gestion de l'environnement et d'aménagement du territoire

Diplôme d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement

Evaluation environnementale de 3 fermes de polyculture élevage du Hainaut occidental

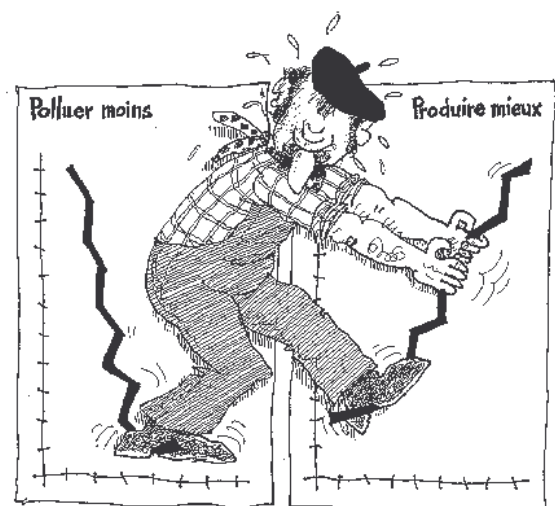
Application des logiciels EcoFerme et Ferti-MO

Travail de fin d'étude présenté par
Sonet Gontran
En vue de l'obtention du grade académique de
Diplômé d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement

Année Académique : 2002 – 2003

Directeur : Professeur B. Godden

UPEM ULB – CRIA, Nivelles, ULB



Roussel

Rouso, *Analyse de données*, Le courrier de l'environnement de
l'INRA, numéro 37, p 54.

Remerciements

Monsieur Godden,

Je tiens à vous exprimer toute mon admiration par rapport à vos connaissances, votre dynamisme et vos nombreux projets et activités. Vous m'avez donné, pendant ce mémoire, l'occasion de découvrir de nombreuses richesses du monde rural. Merci de m'avoir guidé pour ce travail intéressant.

Monsieur Debouche, Monsieur Krafft et Monsieur Lambin,

Votre aide a été très précieuse pour me permettre d'installer, de manipuler et d'interpréter les programmes Ferti-MO et EcoFerme.

Messieurs les agriculteurs,

Merci beaucoup d'avoir non seulement accepté de participer à ces bilans mais aussi d'avoir pris le temps de m'aider à les faire au mieux.

Madame Mohimont, Monsieur Garot et Monsieur Vandenberg,

Je vous remercie beaucoup pour votre collaboration et la communication des données concernant un des agriculteurs. Cette démarche a permis de gagner du temps précieux pour l'agriculteur ainsi que pour moi.

Monsieur Mottoule et Monsieur Wadin,

Un grand merci pour les informations que vous m'avez envoyées concernant les codes O.T.E.

Monsieur Servotte,

Je vous suis très reconnaissant de m'avoir envoyé la documentation que je cherchais à propos du type d'agriculture en Hainaut.

Monsieur Appelboom, Pierre Kutzner, Laurent Broeckaert et Diana Gasparon,

J'ai tenté autant que possible de séparer mes activités "DES" et mes activités "au Musée" mais beaucoup de choses n'auraient pas été possibles sans la souplesse que vous m'avez laissée et la confiance que vous m'avez confiée.

Alain, Ariane, Eric, Florence, José, Laurence et Philippe,

Chers compagnons du CRIA, merci pour ces échanges intéressants et ces moments conviviaux. Je remercie tout particulièrement Florence avec qui la première enquête a été faite et surtout pour sa grande collaboration lors de la réalisation du questionnaire synthétique.

Fabrice et Lydia,

Merci pour les encouragements et les échanges sérieux et humoristiques.

Maman, Zébé, Alexis, Fabrice,

Merci pour les moments de décompression, surtout lorsque rédaction, déménagement précipité, fuites de gaz et problèmes d'électricité surviennent simultanément. Merci d'avoir accéléré l'indicateur de la moyenne de ma rentabilité du compartiment crânien au compartiment impression finale.

Vanya,

... Je compte me rattraper dès à présent ;o) Merci beaucoup pour ton aide directe et ... indirecte.

Résumé

L'agriculture raisonnée cherche à réduire les effets néfastes des pratiques agricoles sur l'environnement tout en maintenant un haut niveau de productivité. Cette approche permet de minimiser les coûts de production de l'exploitation mais nécessite de connaître au mieux les transferts de matière et d'énergie mis en jeu.

Plusieurs méthodes ont été conçues pour fournir aux agriculteurs des outils de gestion raisonnée qu'ils peuvent appliquer spécifiquement à leur exploitation. Parmi eux, Ferti-MO aide l'agriculteur à optimiser, de jour en jour, l'utilisation de ses engrais de ferme et EcoFerme est un instrument d'auto-évaluation environnementale. Nous avons appliqué ces deux méthodes à trois fermes de polyculture élevage typiques du Hainaut occidental, région qui se distingue par une forte charge animale et une relativement faible pollution nitrique des eaux souterraines. Les modes d'exploitation des trois fermes étudiées ont un degré d'intensification croissant, allant des pratiques raisonnées (ferme 1) aux pratiques ultra intensives (ferme 3).

Pour ce faire, un questionnaire synthétique a été réalisé pour faciliter et raccourcir la durée des enquêtes auprès des agriculteurs.

Le logiciel Ferti-MO a permis de caractériser les différents engrais de ferme et de les valoriser sous forme d'un plan de fumure approprié aux besoins de chaque parcelle. Les apports d'engrais de ferme couvrent respectivement 20% et 92% des besoins en azote totaux des fermes 1 et 3.

Les résultats de la méthode EcoFerme ont mis en évidence de grandes différences entre les trois fermes. La ferme 1 est davantage tournée vers les cultures et achète proportionnellement moins de nutriments que les fermes 2 et 3. Ses impacts environnementaux sur les eaux et l'atmosphère sont plus limités et sa marge de manœuvre par rapport aux normes est plus grande. La ferme 2 est moyennement spécialisée en bovins laitiers et montre des pertes en nitrate et en méthane plus importantes. La ferme 3 est un polyélevage comprenant bovins et porcins avec une forte charge animale. Elle se distingue par des volatilisations d'ammoniac particulièrement importantes et montre la plus faible efficacité de l'utilisation de l'azote au niveau des cultures malgré le fait qu'elle en importe proportionnellement le plus. Enfin, ces 2 fermes semblent avoir une faible marge de manœuvre par rapport aux normes.

En conclusion, Ferti-MO et EcoFerme sont des outils complémentaires dont la combinaison permet l'évaluation globale et intégrée des pratiques de la ferme (EcoFerme) ainsi que l'amélioration de la gestion des engrais de ferme au niveau spécifique de chaque parcelle (Ferti-MO). Cette démarche s'avère être une étape nécessaire dans la gestion durable de la région.

Introduction

Vers une agriculture raisonnée

Historique

Depuis sa sédentarisation, l'être humain a développé des systèmes d'**agriculture mixte** où les 4 processus du transfert cyclique des nutriments propres à l'agriculture sont étroitement imbriqués à l'échelle de la ferme (Schröder 1998).

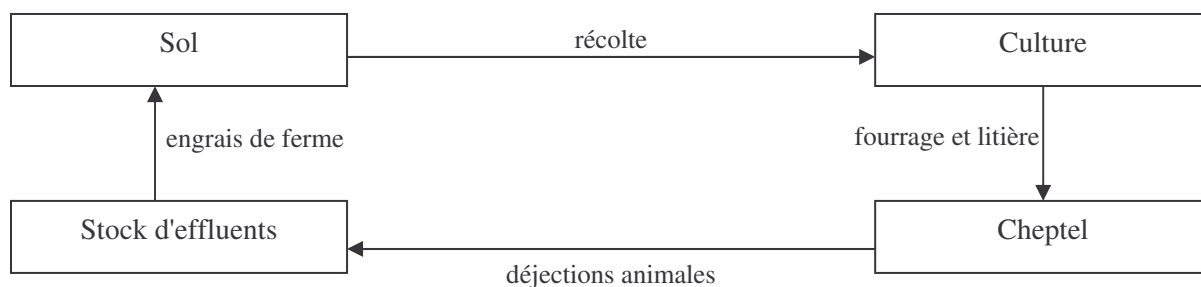


Figure 1 - Transfert cyclique des nutriments en agriculture mixte

Dans ce type d'agriculture, les activités de culture et d'élevage sont complémentaires puisque les produits et les sous-produits des cultures sont en partie consommés sous forme de fourrage ou de litière par le cheptel au sein-même de l'exploitation. Les déjections animales sont stockées et épandues sur les sols cultivés pour servir d'engrais de ferme pour les cultures; la boucle est bouclée.

Vers la fin du XIX^{ème} siècle, l'emploi des fertilisants (chimiques) a été à l'origine de la spécialisation et de l'intensification des activités agricoles (Baars 1998). Cette modification a permis une nette augmentation de la production par surface agricole utile (SAU) et une diminution drastique du rapport "surface cultivée par personne" à l'échelle mondiale. Cette tendance est appelée à persister selon les estimations (-56% entre 1965 et 2025). Hélas, cette évolution s'est accompagnée d'un coût environnemental significatif (Stewart 2003).

Résumé des impacts environnementaux de l'agriculture intensive

La pollution en nutriments

Les pratiques agricoles intensives bouleversent complètement les cycles de nutriments à tous les niveaux de l'exploitation (Lantinga 1998 et Baars 1998) :

- L'usage exagéré des fertilisants par rapport aux besoins des cultures se traduit en pertes de nutriments vers l'environnement.
- La spécialisation de l'agriculture interrompt le cycle de production d'engrais organique et déséquilibre sévèrement la charge en bétail.

- Les cultures de légumineuses qui ont la propriété de fixer l'azote atmosphérique sont écartées des rotations et, par conséquent, diminuent le processus de fertilisation naturel.
- Les rotations plus courtes dégradent le sol.
- L'importation des fertilisants minéraux est souvent effectuée sans prendre en compte les potentialités internes de la ferme (charge animale, cultures de légumineuses, etc.).



Rousso, *Les amendements*, Le courrier de l'environnement, n° 43, p 55.

Selon Bel et al. (1999), la pollution azotée n'est pas la conséquence d'un seul facteur mais plutôt de l'effet cumulatif de facteurs agronomiques (type de culture, rotations, fertilisation, pratiques agricoles, etc.), agrologiques (propriétés du sol) et climatologiques (précipitations, températures, etc.). Il s'agit donc plutôt d'un "système polluant".

Pollution par les pesticides

Les rotations plus courtes et les surfaces de monocultures plus importantes augmentent les risques d'épidémies et donc le recours aux pesticides (Stoate et al. 2001).

Qualité du sol et de l'eau

L'intensification des pratiques agricoles appauvri le sol en matière organique; les sols sont compactés par les machines; le remembrement et l'agrandissement des parcelles ont supprimé les éléments tels que les haies qui retiennent les terres. Tous ces processus contribuent à l'érosion et à la détérioration de la qualité du sol.

La mauvaise qualité du sol se répercute sur le système aquatique à cause du lessivage qui entraîne les particules du sol via les flux d'eau en surface et en sous-sol (Stoate et al. 2001).

Pollution atmosphérique

La pollution atmosphérique est causée par les pesticides, les nitrates (NO₂), l'ammoniac (NH₄) via l'élevage d'herbivores, et le dioxyde de carbone (CO₂) qui est moins bien séquestré par le système agricole appauvri en matière organique.

Diversité de la flore et de la faune

La diversité végétale et animale s'est appauvrie parallèlement à la l'uniformisation des habitats, à l'eutrophisation, à l'utilisation des pesticides, et à la détérioration du sol (cf. supra).

Le paysage

Le paysage a perdu de sa richesse suite à l'élargissement de la taille des fermes, la simplification des rotations et la disparition des éléments non cultivés (haies, tournières, etc.).

L'agriculture raisonnée

Principe

Une agriculture soutenable utilise les ressources non renouvelables avec modération, maintient un bilan en ressources renouvelables en équilibre et conserve les qualités écologiques de l'environnement sans nécessairement être en contradiction avec la productivité (Rabbinge 1998). Dans cette optique, de nombreuses études ont montré que des pratiques agricoles raisonnées peuvent avoir **un intérêt à la fois économique et environnemental**.

Les résultats d'une étude de CRAGx SSA et de l'AEDB Linalux (Stilmant et al. 2000) sont très démonstratives à ce sujet. Ils ont montré, à partir de 635 comptabilités agricoles de la Province de Liège, que l'efficacité de l'utilisation de l'azote dans les exploitations laitières est d'autant plus grande que les **excès** d'azote diminuent.

$$\text{Excès N/SF} = 621,6 * e^{-5,8 * \text{effN}}$$

Excès N/SF est l'excès d'azote par hectare de superficie fourragère.

"EffN" est l'efficience de l'utilisation de l'azote qui est calculée comme le rapport entre la quantité d'azote exportée et la quantité d'azote importée ($N_{eff} = N_{exp}/N_{imp}$).

Il est donc possible de maximiser le profit technico-économique (par l'augmentation de l'efficience de l'utilisation de l'azote) en même temps que de minimiser les risques pour l'environnement (par la diminution des excès d'azote).

Leurs résultats montrent que les déperditions en azote par hectare ne sont pas corrélées à la charge calculée ($R^2 = 15\%$). Par contre, elles le sont à raison de 85% avec l'apport en azote minéral par hectare.

Ce qui est probablement le plus révélateur parmi leurs résultats est que **l'importance de l'apport minéral effectué dans les fermes étudiées est complètement indépendant de la charge calculée**, et donc des apports en azote organique produits dans l'exploitation ($R^2 = 4\%$).

Ces constatations montrent les aberrations qui surviennent lorsque la fertilisation n'est pas raisonnée de manière globale et intégrée.

Il convient d'ajouter que ces résultats ne sont pas spécifiques à la Province de Liège; ils ont aussi été constatés à Comines (Frankinet et al. 2002).

Une étude menée sur 10 ans a montré que l'utilisation de nutriments recyclés au niveau de la ferme et avec un dosage adapté au sol permet de produire un haut rendement et de maintenir le bilan en équilibre (Zhang et al. 2002). Dans cette optique, il serait intéressant d'adapter l'alimentation des animaux (avec moins de P) pour améliorer le rapport N : P dans les fumiers et ainsi, accroître les potentialités de la fertilisation sans détriment pour la santé et la production animale (Van Horn et al. 1996).

La gestion des nutriments a comme double objectif d'améliorer les performances économiques et environnementales du système agricole. Cette gestion nécessite une bonne compréhension des cycles des nutriments ainsi que des dispositions et technologies propres à chaque site (Oenema & Pietrzak 2002).

Le cycle de l'azote

Comme le montre la figure suivante, l'azote atmosphérique (N_2) entre dans le système agricole par dépôt, fixation biologique (bactéries symbiotiques ou libres), fixation industrielle (fabrication des engrais minéraux) fixation électrochimique. Cette fourniture d'azote est soit **assimilée** par les plantes, soit stockée temporairement sous forme d'azote organique dans le sol (humus) par un processus de **réorganisation/minéralisation**, soit perdue par **volatilisation** sous forme d'ammoniac (NH_3), par **drainage** dans les eaux superficielles ou **lessivage** dans les eaux souterraines sous forme de nitrate (NO_3^-), ou par **dénitrification** vers l'atmosphère. L'élevage intervient dans ce cycle car les animaux consomment de la production végétale (herbe du prairie, fourrage ou aliments concentrés), la digèrent et la rejettent sous forme de déjections. Une proportion variable d'azote (par exemple entre 5 et 25% pour les vaches en prairie) se retrouve sous forme de production animale (viande, lait, etc.). Parmi les pertes, environ 15% du contenu en azote des urines est volatilisé sous forme d'ammoniac et le reste des pertes peut être stocké si les animaux sont à l'étable, ou retourner directement au sol lors du pâturage (**restitution**). Les pertes au niveau du stockage se produisent par écoulement, volatilisation et dénitrification. Les conditions de stockage et d'épandage des engrais fermiers ou minéraux influencent l'importance de la volatilisation d'ammoniac et des pertes en nitrates dans les eaux.

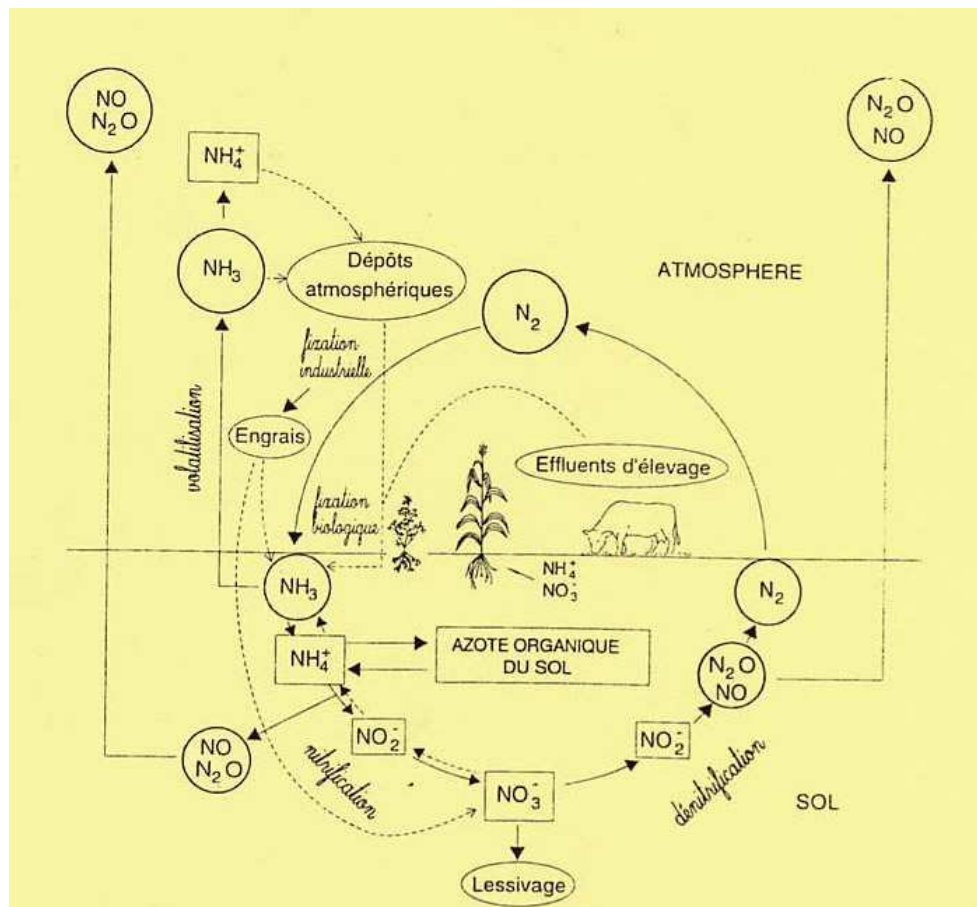


Figure 2 - Le cycle de l'azote (Marioti 1997)

Plusieurs propositions ont été faites pour (Kirchmann et al. 2002).

- Indexation environnementale des terres avec prise en compte des variabilités spatiales à l'intérieur de celles-ci en rapport avec les potentialités de perte par lessivage.
- Réduction des intrants en azote dans le sol à des niveaux légèrement inférieurs au niveau optimum en appliquant moins de fertilisant et en diminuant la densité animale.
- L'utilisation de diverses mesures (culture d'engrais verts, travail minimum du sol, contrôle des processus biologiques) en fonction des risques de lessivage d'azote.

Les fermes mixtes

L'agriculture raisonnée est particulièrement pertinente en agriculture mixte où les fonctions d'élevage et de culture sont liées au sein même de l'exploitation agricole; permettant une meilleure efficacité de l'utilisation des nutriments et de l'énergie (nutriments produits sur place), un meilleur emploi des fumures (engrais organique), l'intégration de prairies temporaires (moins d'accumulation d'azote et meilleure utilisation d'azote minéralisé) ainsi que la diminution du recours aux pesticides (cultures plus variées). Au contraire, plus la ferme est spécialisée, moins il y a de possibilités de recyclage interne (Goewie 1998).

Les **fermes (mixtes) écologiques** ("locally oriented" dans la littérature anglo-saxonne) ont pour objectif de **limiter les émissions par SAU** (en fermant les cycles) tout en maintenant la production et un sol de bonne qualité. Elles n'utilisent en principe pas de pesticides et réservent au moins 4% de leur surface pour l'établissement d'un milieu naturel (Rabbinge 1998).

Les **fermes (mixtes) intégrées** ("globally oriented" dans la littérature anglo-saxonne) ont pour objectif d'**optimiser l'efficacité d'utilisation des intrants** en minimisant les surplus en azote et en pesticides (Rabbingen 1998).

Les outils d'évaluation et de gestion

Les différentes catégories d'indicateurs

Les indicateurs peuvent être regroupés en différentes catégories selon qu'ils concernent l'utilisation d'énergie non renouvelable, les impacts sur les ressources naturelles exploitables par la ferme et les impacts sur son environnement (Halberg 1997), en sous-sol (ex. eaux souterraines), en périphérie (ex. vie sauvage, cours d'eau, terrains adjacents et environnement marin) et en altitude (ex. atmosphère).

Le choix des indicateurs doit pouvoir être adapté en fonction des conditions locales (Halberg 1997) mais il est primordial que chaque indicateur ait une définition commune et non équivoque (Sveinsson et al. 1998).

Indicateurs d'état et indicateurs de contrôle

Les indicateurs d'état nous informent sur une situation résultant d'une accumulation d'événements sur une période donnée (effet environnemental). Les indicateurs de contrôle nous informent sur les actions qui influenceront la situation ultérieure (pratique agricole). Il peut donc y avoir une relation de cause à effet entre ces deux types d'indicateurs (Halberg 1997). Les indicateurs des effets environnementaux résultant des pratiques agricoles sont en lien direct avec les objectifs et laissent une certaine liberté d'action de la part de l'exploitant. Au contraire, les indicateurs basés sur les pratiques du fermier sont plus faciles à collecter et mieux maîtrisables. La combinaison de ces deux types d'indicateurs permet de relativiser la contribution de chaque pratique agricole sur les effets environnementaux (Van der Werf & Petit 2002).

La méthode des bilans

Les bilans sont des indicateurs d'état quantitatifs qui comptabilisent l'ensemble des entrées et des sorties d'un élément déterminé (nutriment, énergie, etc.) dans un système défini (sol, parcelle, stock, exploitation, région, etc.) et sur une période donnée (année, rotation etc.) pour mettre en évidence un excédent, un équilibre ou un déficit en cet élément.

Echelles de calcul des bilans

Le **bilan national** est notamment utilisé par l'OCDE comme indicateur pour mesurer les surplus par pays (Van eerdt 2002).

Le **bilan régional** est un indicateur environnemental intéressant pour évaluer les régions sensibles à la pollution des eaux souterraines par lessivage des sols agricoles (Van Eerdt 2002). Le **bilan au niveau d'un bassin versant** est idéal d'un point de vue environnemental car il prend en compte l'ensemble des flux concernant un système hydrologique donné. Cependant, la complexité de ces systèmes hétérogènes et de grandes dimensions nécessitent une approche en trois dimensions (topographie et hydrogéologie) et multidisciplinaire (Tychon 1996).

Le **bilan de l'exploitation** entière permet d'évaluer l'importance des pertes et des variations de stock de manière globale pour tous les compartiments de la ferme: les cultures, les prairies, les infrastructures d'élevage et de stockage (Van Bol). Cette échelle sera préférentiellement utilisée pour réguler les émissions et avoir une idée des risques de pollution issus de l'exploitation (Sveinsson et al. 1998).

Les bilans plus précis, prenant en compte les entrées et sorties au niveau des cycles internes de la ferme (plante, parcelle, sol cultivé, assolement, animal, cheptel, stockage) est un outil qui permet d'optimiser l'efficacité de l'utilisation des nutriments à l'intérieur de l'exploitation agricole (Sveinsson et al. 1998) :

- Le **bilan de l'assolement** correspond au "Soil surface balance" et concerne l'ensemble des cultures et des prairies.
- Le **bilan parcellaire** est réalisé au niveau d'une seule parcelle tandis que le bilan de l'assolement correspond au bilan de l'ensemble des parcelles prises comme une seule.

Le tableau suivant reprend les différents postes comptabilisés selon l'échelle de calcul d'un bilan en azote.

Tableau 1 –Différents postes comptabilisés pour un bilan en azote à l'échelle parcellaire, de l'exploitation et de l'assolement.

Bilan parcellaire d'après Frankinet et al. (2002).	Bilan de l'exploitation d'après Sanderson et al. (1996).	Bilan de l'assolement d'après Van Bol (1997).
<u>Entrées</u>		
Fertilisation azotée	Fertilisation azotée	Fertilisation azotée
Fixation libre ou symbiotique	Fixation libre ou symbiotique	Fixation libre ou symbiotique
Déposition atmosphérique	Déposition atmosphérique	Déposition atmosphérique
Teneur en azote minéral en début de saison	Fourrages importés	Apports d'azote par les compléments alimentaires donnés au pâturage
Minéralisation (selon l'apport en fumure organique et le précédent cultural)	Aliments pour bétail achetés	
<u>Sorties</u>		
Productions végétales	Exportations végétales	Productions végétales
Pertes (dénitrification, volatilisation et lessivage)	Productions animales	Production animale à partir du pâturage
	Engrais de ferme exportés	
<u>Solde</u>		
Pertes au niveau de la parcelle (ruissellement, lessivage, volatilisation et dénitrification)	Pertes aux différents compartiments de la ferme (ruissellement, lessivage, volatilisation et dénitrification)	Pertes au niveau des cultures, des prairies, sur le chemin de traite, etc.(ruissellement, lessivage, volatilisation et dénitrification)
Variation du stock d'humus	Variation des stocks (effluents, engrais de ferme, humus du sol, produits végétaux)	Variation du stock d'humus

Les méthodes et principes varient d'un bilan à l'autre et rendent les comparaisons difficiles. Van Bol et Peeters (1997) ont montré que trois méthodes différentes de bilan d'azote pouvaient donner, à partir d'une même base de donnée, un solde qui variait entre -31 et +97 kg d'azote par hectare et par an !

Eléments pris en compte dans les bilans

- **Trois modèles conceptuels de budget EIO, BIO et TRIO** (Watson & Atkinson 1998).

Le budget économique entrée/sortie (economic input/output budget, E. I. O.) prend en compte uniquement les intrants achetés et les effluents vendus. Ce bilan apparent est plus rapide (car basé sur un nombre limité de valeurs qui sont déjà connues par l'exploitant) mais omet des postes qui peuvent être importants (ex. déposition et fixation atmosphérique d'azote).

Le budget biologique entrée/sortie (biologic input/output budget, B. I. O.) comprend non seulement les produits achetés et vendus mais aussi la fixation atmosphérique et la déposition d'azote, particulièrement importante en ferme biologique.

Le budget transfert/recyclage entrée/sortie (transfert/recycle input/output Budget, T. R. I. O.) prend en compte les entrées et sorties du BIO avec en plus, les flux internes d'immobilisation et de minéralisation dans le sol.

L'azote est l'élément le plus généralement considéré dans les bilans car il est rapidement mobilisé (consommation au niveau du sol, volatilisation, dénitrification, lessivage) et le plus souvent limitant tandis que le phosphore a tendance à s'accumuler et est proportionnellement plus riche dans les fumiers (Van Horn et al. 1996). Cependant, il est dangereux de se baser uniquement sur l'azote car un autre élément peut être limitant et les calculs sur l'efficacité d'utilisation de l'azote peuvent s'en trouver biaisés (Grignani 1997).

Valeurs fournies par les bilans

- **Surplus**

Le surplus correspond à la somme des nutriments entrants dans le système moins le total des nutriments sortants sous forme de produit. Ce surplus est considéré comme indicateur des pertes dans l'environnement car il équivaut aux pertes dans l'air, l'eau souterraine et de surface et dans le sol, sous les racines (Van Eerd 2002). Un bilan en équilibre (surplus proche ou égal à zéro) ne signifie pas nécessairement qu'il n'y a pas de pertes dans l'environnement. En effet, **le surplus est basé sur une moyenne qui peut ne pas mettre en évidence des déséquilibres plus locaux** spatio-temporellement.

Le surplus est généralement calculé en kilos de nutriment par hectare et par an. Dans ce cas, sa valeur risque de subir un **effet de dilution** si le surplus est donné par hectare d'exploitation (comportant des surfaces non exploitées) au lieu d'être donné par hectare de SAU (Sveinsson et al. 1998). Le surplus peut aussi être calculé par rapport à une unité de production comme par exemple en kilos d'azote excédentaire par kilos de lait produit (Schröder et al. 1998).

- **Efficacité**

L'efficacité d'utilisation d'un élément dans un système est le rapport entre la quantité de cet élément qui est produite ("produit valorisable") par rapport à celle introduite dans le système.

Schröder et al. (1998) ont montré que de petites différences dans le mode de gestion d'une ferme peuvent correspondre à de grandes différences dans la valeur de cet indicateur. Selon leurs calculs, une

ferme à production laitière qui exporte 20% en azote de ses aliments a une efficacité d'utilisation d'azote de 0,36 alors qu'une ferme qui en exporte 20% a une efficacité d'utilisation de 0,25.

Comme dit précédemment, la diminution du **surplus** (favorable du point de vue risque de pollution), s'accompagne d'une augmentation de l'**efficacité** (favorable d'un point de vue technico-économique). L'équilibrage d'un bilan en nutriments d'une exploitation est donc une démarche win-win (Stilmant et al. 2000).

Quelques méthodes d'évaluation avec bilans

Les méthodes développées dans les pays européens sont très nombreuses. Il serait inutile de toutes les présenter dans le cadre de ce mémoire; néanmoins, voici quelques exemples qui permettront d'apprécier la diversité des approches :

- **INDIGO** (France)

La méthode INDIGO (INDicateur de Diagnostic Global à la parcelle) est basée sur les indicateurs agro-écologiques développés par l'INRA de Colmar (en collaboration avec l'Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA) et dans le cadre des programmes ITADA)

Les résultats de INDIGO concernent les impacts des facteurs de production et de gestion de l'espace naturel (tels que pesticides, irrigation, énergie, matière organique, mécanisation, couverture du sol, éléments non productifs).

Son objectif est d'évaluer les **parcelles et les exploitations** d'un point de vue environnemental en terme de points faibles et de points forts et de fournir aux agriculteurs et aux conseillers un outil de simulation pour orienter le choix de pratiques culturales. Les résultats sont présentés de manière qualitative sur une échelle entre 0 et 10 (bon) avec une valeur recommandable de 7 (Bockstaller 2001). Contrairement à l'écobilan "EcoFerme" (Debouche & Lambin 2002) qui est décrit ultérieurement, ce programme tient compte de la succession des cultures mais ne fait pas de bilans indépendants pour les différents compartiments de l'exploitation ("animaux", "cultures", "sols cultivés").

- **AZOBIL** (France)

AZOBIL a été mis en œuvre en 1990 par l'INRA

AZOBIL est une méthode de bilan prévisionnel qui calcule la quantité d'engrais azoté qu'il est nécessaire d'apporter pour équilibrer la disponibilité en azote du sol avec les besoins de la culture. Ce logiciel comptabilise donc les fournitures d'azote issues des différentes sources du milieu et les besoins en azote du peuplement végétal étudié. L'azote complémentaire à apporter (sous forme organique ou minérale équivaut à :

$N \text{ à apporter} = \text{Besoins en N de la plante} - N \text{ fourni par le milieu}$

Des ajustements sont possibles afin de permettre une gestion dynamique plus adéquate.

- **DEXEL** (France)

DEXEL (Diagnostic Environnement de l'eXploitation d'ELevage) est une méthode de diagnostic de l'Institut d'élevage agréée par le Comité National de Suivi du PMPOA

DEXEL fait le point sur la situation environnementale et réglementaire des exploitations d'élevage. La démarche couvre 4 domaines de l'exploitation : animal, bâtiment, ouvrage et agronomie pour évaluer la pollution de l'eau par les nitrates et les germes pathogènes (cible secondaire).

- **KUL** (Allemagne)

KUL est une méthode allemande développée à Iena et recommandée au niveau national par l'organisme officiel VDLUFA (Eckert et al 1999).

Cette méthode a pour objectif l'évaluation environnementale des exploitations agricoles en terme de "points faibles", "points forts" pour servir de base à la certification. Cette évaluation, globalement moins sévère que ITADA, établit une cotation entre 1 (bon) et 10 (mauvais) à partir d'un bilan réalisé à l'échelle de l'exploitation entière et prenant en compte de nombreux facteurs tels que NH_3 , Bilans N, P, K, teneurs en N, P, K, Mg et pH du sol, bilan humique, risques d'érosion et de compaction, pesticides, diversité des cultures et bilan d'énergie (Bockstaller 2001).

- **ARIA** (Belgique)

Le bilan ARIA a été mis au point par le groupe "Association de Recherche des Indicateurs d'Azote" (ARIA).

ARIA étudie les **flux d'azote à l'échelle de l'exploitation** (Bilan azote à l'exploitation, BAAE) **et de l'assolement** (Bilan azote à l'assolement, BAAA). Cette méthode permet d'estimer l'ampleur des émissions d'azote dans l'environnement et d'évaluer l'importance relative des facteurs responsables de ces émissions. Il permet de calculer les indices de fertilisation organique des cultures (IFOC) et des prairies (IFOP) ainsi qu'un indice de performance en culture (IPC) et le taux de liaison au sol (LS). Cette démarche vise à générer une réflexion sur les systèmes de production durable de la part des acteurs agricoles (Frankinet et al 2002).

- **MONICA** (Belgique)

Le modèle MONICA ("model for the simulation of soil MOisture processes, soil NIitrogen processes and estimated Crop Assimilation") a été mis au point par le "Comité voor Toegepaste Bodemkunde" chargé par l'Institut pour l'encouragement de la

MONICA est un modèle qui permet de décrire le comportement de l'eau et de l'azote dans les profils de polders et simule la croissance et la production des cultures en fonction des disponibilités en eau et en azote. Cette modélisation du mouvement de l'eau et de la dynamique de l'azote dans la zone racinaire est a été élaborée pour des sols avec un courant d'eau bi-modal très accentué (Comité voor Toegepaste Bodemkunde 1989).

- **Ferti-MO et EcoFerme (Belgique)**

Ces deux méthodes utilisées dans le cadre de ce travail font l'objet d'une description détaillée ultérieurement (cf. point C).

Intérêt de la comparaison des différentes méthodes

Comme le souligne Bockstaller (2001), La comparaison des différentes méthodes d'évaluations environnementales sont importantes pour :

- Déterminer leurs caractéristiques respectives (possibilités, limites, domaines de validité, faisabilité, etc.) afin d'évaluer leurs complémentarités.
- Apprécier leur crédibilité en vérifiant par exemple que deux méthodes ne se contredisent pas si elles sont réalisées à partir de même données.
- Valider, grâce aux résultats de méthodes indépendantes, des outils qu'il n'est pas facile (ou pas possible) de vérifier sur le terrain.

Usage des bilans aux Pays-Bas

Aux Pays-Bas, les bilans (de N et de P) au niveau de la ferme (pour les exploitations de plus de 2,5 UGB / ha) font partie de la législation des fumiers depuis 1998 (Mineral accounting system, MINAS). Des pertes supérieures à un niveau maximum fixé sont pénalisées par des amendes (Van Eerdt 2002).

Ces bilans ont remplacé les mesures précédentes qui consistaient en :

- La limitation de la quantité de fumier appliquée par hectare.
- Une quantité totale de viande limitée.
- Des périodes d'interdiction d'épandage entre le 1 septembre et le 1 février (Van den Brandt & Smit 1998).

La nouvelle réglementation est plus flexible que les mesures générales qui ne peuvent s'appliquer à toutes les fermes. De plus, chaque fermier peut adapter ses pratiques pour équilibrer son bilan (Van den Brandt & Smit 1998). Par exemple les fermes avec production intensive de viande (avec grande charge en bétail) ne produisent pas nécessairement de grands surplus; dans ce cas, la gestion des nutriments est un facteur plus important que la densité animale (DELAR 1993).

D'autre part, ce mode de gestion est plus global car il prend en compte les engrais organiques et minéraux. Jusqu'en 1998, l'apport en fertilisants chimiques n'était pas pris en compte (Van den Brandt & Smit 1998). Par contre, les "boucles internes" (engrais de ferme) ne sont pas intégrés dans le bilan MINAS (Van den Brandt & Smit 1998).

Cadre réglementaire

Union Européenne

Depuis une dizaine d'années, la politique agricole de l'Union Européenne adapte sa réglementation en vue de réduire les pressions des pratiques agricoles sur l'environnement.

Les **directives nitrate** ont pour objectif de protéger les eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole. La directive nitrate de 1991 (91/676/CEE) introduit les zones vulnérables pour lesquelles elle établit un programme d'action et un programme de surveillance. Elle réalise et diffuse un Code de Bonnes Pratiques Agricoles (Vazzana 2002).

La réforme de la Politique Agricole Commune (PAC) de 1992 (EC 2078/92) a introduit les **mesures agri-environnementales** dans le but d'encourager, de manière incitative, les pratiques agricoles favorables à l'environnement, à la sauvegarde de la biodiversité et à la préservation des ressources naturelles.

Le **Plan de Développement Rural** (EC 1257/1999) encourage les acteurs du monde rural (agriculteurs et autres) à améliorer la qualité de l'espace (environnement, paysage).

Région wallonne

Le code wallon de bonnes pratiques agricoles (CBPA)

Ce code est d'application sur base volontaire mais est rendu obligatoire dans les zones vulnérables par le programme d'action. Il reprend la législation concernant l'épandage des effluents d'élevage et des gadoues de fosses septiques; les normes d'épandage des matières organiques et des engrais minéraux par type de culture; les capacités et conditions minimales de stockage ainsi que des conseils spécifiques à chaque culture.

Arrêté du gouvernement wallon relatif à la gestion durable de l'azote en agriculture

Cet arrêté du gouvernement wallon (MB 29/11/2002) s'inscrit dans le programme de gestion durable de l'azote (PGDA) et détermine des normes qui sont basées sur une série d'indicateurs applicables selon des zones bien définies :

- **Les zones vulnérables et les zones à contrainte environnementale particulière**

Les 4 zones vulnérables définies en Région wallonne sont les Sables bruxelliens, le Crétacé de Hesbaye, le Sud-Namurois et Comines-Warneton. Le pays de Herve a été défini en zone à contrainte environnementale particulière.

Dans ces zones, l'azote contenu dans les matières organiques peut être épandu à raison de :

- 80 kg/ha pour les terres arables et
- 210 kg/ha pour les prairies (restitutions des animaux au pâturage comprises).

En dehors de ces zones, l'azote contenu dans les matières organiques peut être épandu à raison de :

- 120 kg/ha pour les terres arables et
- 210 kg/ha pour les prairies (restitutions des animaux au pâturage comprises).

Ces valeurs sont calculées en moyenne sur l'ensemble des superficies de l'exploitation concernée et, au niveau de chaque parcelle, en moyenne sur trois années consécutives.

- **La capacité d'épandage**

La capacité d'épandage d'une exploitation est exprimée en kg d'azote organique et vaut :

80 fois la surface de terre arable de l'exploitation en zone vulnérable ou à contrainte environnementale particulière.

120 fois la surface de terre arable de l'exploitation en dehors de ces zones.

210 fois la surface de prairies de l'exploitation.

- **Le taux de liaison au sol (LS)**

Le taux de liaison au sol de base (LS-Base) est le rapport entre la charge organique de l'exploitation (effluents d'élevage, boues, compost, etc.) et la capacité d'épandage. Il est calculé à partir de la formule ci-dessous (MB 29/11/2002) :

$$\text{LS-Base} = \text{N org. prod.} + \text{N org. Imp.} / \text{S prairies} * \text{VBP} + \text{S arables} * \text{VBA}$$

N org. Prod. = azote organique produit (kg)

N org. Imp. = azote organique importé (Kg)

S prairies = Superficie de prairies de l'exploitation (ha)

S arable = Superficie de terres arables de l'exploitation (ha)

VBP = Valeur maximale de base d'azote organique épandable en moyenne sur les prairies (210 kg Norg. /an en zone vulnérable (ZV) et soumise à contraintes environnementales particulières (ZCEP); 210 kg Norg. /an Hors ZV et ZCEP).

VBA = Valeur maximale de base d'azote organique épandable en moyenne sur les terres arables (80kg Norg. /an en zone vulnérable (ZV) et soumise à contraintes environnementales particulières (ZCEP); 120 kg Norg. /an Hors ZV et ZCEP).

Lorsque le LS-base est supérieur à 1, l'agriculteur dispose de 2 solutions :

La conclusion de contrats de valorisation pour exporter des matières organiques "excédentaires" ou l'engagement en démarche qualité qui permet d'augmenter la capacité d'épandage à 130 kgNorg/ha sous labour et 250 Norg/ha en prairie à condition de suivre un plan de gestion de l'azote encadré par Nitrawal (profils azotés, comptabilité de l'azote, couverture du sol en hiver, fertilisation raisonnée, gestion du pâturage, etc.).

Les LS-Contrats, LS-Interne, LS-déroatoires, et LS-Zone vulnérable peuvent être calculés dans les cas particuliers de contrats de valorisation, de mesure interne à l'exploitation (importations et exportations exclues), de valeurs maximales dérogatoires d'azote organique épandable (VDA et VDP en démarche qualité) et de situation en zone vulnérable (MB 29/11/2002).

- **Les quantités maximales d'azote par parcelle**

Pour chaque parcelle, la quantité maximale d'azote organique épandable sur une année vaut 210 kg/ha. De plus la quantité d'azote total (organique plus minéral) ne peut pas dépasser, sur une année, la valeur maximale spécifique à chaque culture (ex. 330 Kg d'azote total par hectare pour la betterave, la pomme de terre, 300 KgNtot. /ha pour le maïs et 280 KgNtot. /ha pour le froment).

- **Normes et valeurs de référence**

Plusieurs valeurs de références sont données pour les différents calculs (ex. composition azotée moyenne des effluents d'élevage, production annuelle d'azote par catégorie animale, etc.). Les calculs peuvent se baser sur des valeurs mesurées au cas par cas à condition de respecter les procédures d'analyse dans l'exploitation.

- **Les périodes et conditions d'épandage**

L'épandage de toutes les matières organiques est interdit sur les sols enneigés, saturés en eau, à moins de 4 mètres d'une eau de surface ou sur les cultures pures de légumineuses.

Les effluents d'élevage à action rapide sont interdits sur les sols gelés et sur les terres nues (sauf avec incorporation le jour même).

Les engrais minéraux ne peuvent être épandus entre le 1^{er} novembre et le 31 janvier.

En culture arable, les engrais organiques à action rapide ne peuvent être épandus entre octobre et février. En été, tout engrais organique est interdit entre juillet et septembre à moins qu'il y ait incorporation des pailles, culture piège à nitrate ou culture de céréale d'hivers. En prairie, l'épandage d'engrais organique à action rapide est interdit entre septembre et novembre.

- **Le stockage des effluents d'élevage**

Les lisiers, purins et jus d'écoulement doivent être stockés dans des cuves étanches et dont la capacité doit être suffisante pour 6 mois.

Les fumiers et effluents de volailles se font sur une aire bétonnée, étanche et avec récolte de jus à la ferme et les fumiers peuvent être stockés au champ sans fumière selon plusieurs conditions (suffisamment pailleux, à plus de 10 m d'un point d'eau, pas dans un fond de vallée, pas 2 années de suite au même endroit, minimum de 55% en matière sèche pour les effluents de volailles).

Les mesures agri-environnementales de la Région wallonne (MAE)

Elles ont été revalorisées en 1999 (M. B. 31/03/1999), notamment par un assouplissement des dispositions et une augmentation des primes (plafond de 9916 euros au lieu de 4958 euros). Ces 11 mesures ont notamment pour objectif de limiter les effets négatifs de l'intensification. Elles sont regroupées en "mesures horizontales" applicables sur l'ensemble du territoire et en "mesures verticales" applicables dans des zones bien définies (protection des eaux, parcs naturels, etc.). Elles concernent : la protection des paysages par l'entretien des terres à l'abandon; l'extensification ; la protection des eaux; la reconversion à l'agriculture biologique; le maintien de la biodiversité; la gestion des terres pour l'accès au public et au loisir; la formation et la sensibilisation des agriculteurs aux pratiques compatibles avec l'environnement.

Deux outils de conseils : Ferti-mo et ecoferme

Pour aider l'agriculteur à gérer son exploitation au mieux en fonction de ses impératifs économiques, de ses contraintes réglementaires, des limites agronomiques et technologiques ainsi que du respect de l'environnement, plusieurs instruments ont été développés en temps qu'outil de gestion qui leur est directement destiné. Les résultats de ces programmes appartiennent à l'agriculteur seul qui peut procéder à des évaluations et à des simulations pour mieux maîtriser les flux de matières et d'énergies qui caractérisent son exploitation.

Ferti-MO¹

Ferti-MO est un programme conçu et développé par B. Godden (Université Libre de Bruxelles, Unité de physiologie et écologie microbienne au Centre de recherche agronomique de Nivelles) et P. Luxen (Agra-Ost); avec le financement de la Région Wallonne.

¹ Fertilisation Matière Organique

Principe

L'objectif de Ferti-MO est d'assister l'agriculteur dans la gestion quotidienne de ses engrais de ferme (effluents d'élevage). Les matières organiques produites dans l'exploitation agricole sont valorisées dans un intérêt économique, agronomique et environnemental. En effet, en chiffrant la valeur financière (en euros) des engrais de ferme, Ferti-MO met en évidence que les bonnes pratiques ne sont pas uniquement bonnes pour l'environnement; c'est aussi de l'argent gagné, qui n'est pas gaspillé (Luxen & Godden 2003).

A partir de données spécifiques à l'exploitation, Ferti-MO produit, selon la méthode des bilans, des résultats qui consistent en :

- La détermination des types, des quantités et des compositions d'effluents disponibles dans l'exploitation sur une période définie.
- La proposition d'un plan de fumure optimal tenant compte du rendement escompté par l'agriculteur, de l'historique de chaque parcelle, du type et de la quantité d'engrais de ferme disponible à tout moment de l'année et des pertes dans l'environnement des matières organiques.

Les résultats Ferti-MO peuvent à la fois servir de conseil auprès des agriculteurs, d'outil de simulation, d'outil de comparaison entre exploitations sur plusieurs années (lorsque le logiciel est relié à une base de donnée relationnelle au sein d'une coopérative par exemple).

Détail des résultats produits par Ferti-MO

- **Caractéristiques de l'exploitation**

La première rubrique des "caractéristiques de l'exploitation" reprend les coordonnées de l'exploitation (Nom et prénom de l'exploitant; adresse; téléphone; fax; E-mail; langue; Coordonnées Lambert; N°CTI et région agricole). Les données essentielles (nom; adresse; téléphone et N°CTI) sont déjà intégrées dans la base de donnée du logiciel.

Le tableau "2. Description des superficies de l'exploitation" différencie les superficies labourées et les différents types de prairies (permanentes/temporaires et fauchées/pâturées). Il donne les superficies totales et épandables ("Nombre d'ha Totaux/Epanda. ") ainsi que la quantité maximale d'azote permise selon les normes en situation normale ou en démarche qualité ("Normes Rég. Normal, /ha et Total" et "Normes Démarche qual. /ha et Total"). Le tout en tenant compte de la zone (vulnérable; à contrainte environnementale particulière; de captage ou ailleurs) et des aires d'eau de surface où sont situées les parcelles prises en compte. La somme de chacun de ces résultats est également donné.

Le tableau "3. Description du cheptel" récapitule le nombre ("Nbre") de chaque type d'animal appartenant à l'exploitation ("Spéculations") ainsi que les animaux pris en pension ("Importations") et

mis en pension ("Exportation"). Il donne l'estimation de la quantité d'azote produite sur l'année d'après la législation ("Normes") et d'après Ferti-MO (en KgN par type d'animal et par an). La part d'azote qui est restituée sur les parcelles pâturées ("Restitut. ") et la part produite en étable ("Maîtrisab. ") sont calculées à partir de l'encodage des périodes de stabulation, de pâturage et de l'endroit où a lieu la traite.

Le tableau "4. Situation de l'exploitation" donne les valeurs des différents taux de liaison au sol : LS-Base ("LS1"); LS-Contrat ("LS2"); LS-Interne ("LS3"); LS-Dérogatoire ("LS4") et LS-Zone vulnérable ("LS5") dans le cas des superficies situées en zone vulnérable.

Le tableau "5. Stockage et productions d'effluents" calcule pour chaque stock, la capacité disponible ("M3 Disp"); la capacité nécessaire ("M3 Néc") selon la législation; le volume présent dans le stock au début de la période étudiée ("M3 Sto. ") et le volume d'effluent produit ("M3 Prod"), compte tenu des différentes entrées et sorties. La valeur monétaire ("Valeur") de la production d'engrais de ferme est indiquée en euros pour rendre compte de l'importance économique de ce poste. Enfin, la quantité d'azote ("U. N"), de phosphate ("P₂O₅"), d'oxyde de potassium ("U. K₂O"), d'oxyde de magnésium ("U. MgO"), d'oxyde de sodium ("U. Na₂O") et de chaux ("CaO") est estimée pour chaque stock. Ces valeurs sont aussi calculées pour le total des stocks liquides, solides et le total général.

Le tableau "6. Détails des productions" récapitule l'ensemble de effluents d'élevage et des eaux de laiterie, en détaillant leurs origines respectives ("animaux") leurs stocks de destination ("Nom du stock", la date de début et de fin du transfert (D. début et D. fin), leurs valeurs monétaires ("Valeur"), leurs volumes ("M3") et les quantités d'unités de N, de P₂O₅, de K₂O, de MgO, de Na₂O et de CaO produites annuellement ("U. N, U. P₂O₅, U. K₂O, U. MgO, U. Na₂O, U. CaO").

C'est aussi dans ce tableau que sont décrits les dilutions et les transferts de stocks.

- **Plan de fumure**

Le tableau "1. Liste des parcelles et caractéristiques" indique à l'agriculteur le code (en 5 chiffres) donné par le programme à chacune de ses parcelles ("N° Parc. "), le nom donné à la parcelle, la superficie totale et la superficie épanachable, la situation en zone (vulnérable, soumise à des contraintes particulières, captage, ou hors zones), le climat et la nature du sol.

Le tableau "2. Assolements pratiqués" reprend pour chaque parcelle (reconnaisable par son code), la culture pratiquée l'année précédant le plan de fumure vis à vis de la culture prévue ultérieurement. Pour chaque année, le type de culture (fourragère, commerciale ou jachère) et le mode d'exploitation sont indiqués.

Le tableau "3. Besoins des cultures" estime pour chaque parcelle le besoin en azote par hectare ("Bes. Fin") et à l'échelle de la parcelle ("Besoin total"). La valeur de ces besoins est calculée à partir d'un **besoin de base** ("Base") pour la culture prévue (en Kg N/ha). Cette valeur uniquement dépendante de la culture est modifiée par 5 corrections qui tiennent en compte les conditions spécifiques de la parcelle :

1^{ère} correction : Le **rendement** ("Rdt") demandé par l'agriculteur pour la culture de cette parcelle augmente ou diminue le besoin de base selon que la productivité demandée est respectivement plus forte ou plus faible que celle définie pour le besoin de base.

2^{ème} correction : L'apport en **azote minéral** ("Min. ") effectué l'année précédente diminue le besoin de base en azote d'une valeur d'autant plus grande que l'apport a été important. Ce poste tient compte également des apports en azote issus du pâturage.

3^{ème} correction : L'**apport de fumure** ("A. Fu") qui a eu lieu l'année précédente ou même deux ans avant pour les engrais de ferme à action lente comme le compost peut aussi combler de manière plus ou moins importante le besoin de base.

4^{ème} correction : La **culture précédente** ("Préc") peut augmenter ou diminuer l'azote disponible pour l'année suivant selon qu'il y a eu fixation d'azote par les légumineuses, enfouissement, ou au contraire, épuisement du sol.

5^{ème} correction : Les **restitutions** ("Rest") diminuent encore le besoin de base en azote dans le cas où la parcelle a été pâturée.

En bref, le calcul du besoin final en azote par hectare s'effectue comme suit :

$$\text{Bes. Fin} = \text{Base} + \text{Rdt} - \text{Min.} - \text{A. Fu} - \text{Préc} - \text{Rest}$$

Une quantité d'azote par hectare est ajoutée dans les cas où des coupes supplémentaires sont prévues comme par exemple les prairies de fauches ("/cpe Supp").

Enfin, le besoin total est calculé à partir du besoin par hectare multiplié par la superficie de la parcelle.

Pour les parcelles où un épandage d'engrais organique est proposé (voir tableau "Epanchage d'effluents"), la quantité d'azote organique apportée par hectare ("Norg App/ha") est soustraite du besoin final (/hectare) pour donner le besoin restant en azote par hectare ("Soldes en U. N. /ha") et pour toute la parcelle ("Soldes en U. N. Total").

Le tableau "4. Epanchage d'effluents" donne le résultat de l'analyse Ferti-MO qui permet de proposer un plan de fumure. L'analyse prend en compte les types de cultures, leurs besoins, l'efficacité de l'application des engrais organiques, l'adéquation entre la période où la culture a besoin d'azote et les disponibilités de la ferme en effluents d'élevage adéquat, etc.(Communication personnelle). Le tableau propose le type d'effluent à épandre, la période d'épandage, la quantité en unités d'azote qui est concernée par hectare ("UN/Ha") et pour la parcelle ("UN Total") ainsi que la quantité d'effluent à épandre par hectare ("To/ha") et sur toute la parcelle ("Ton. Tot").

Les développements prévus pour Ferti-MO (Ferti-WAL)

La version actuelle "Ferti-MO" est destinée à être améliorée en un outil pratique et convivial, nommé "Ferti-WAL" pour l'optimisation de la gestion des matières organiques à l'échelle de l'exploitation et de la parcelle.

Ce nouvel instrument permettra à l'agriculteur d'optimiser les résultats économiques de la fertilisation de ses cultures en respect permanent avec la législation et les objectifs environnementaux de la Région wallonne.

Le programme sera doté d'un module de gestion de l'information géographique (SIG) pour permettre une représentation spatiale de la gestion. Une plate-forme internet regroupant l'ensemble des modules informatiques développés pourrait être créée.

Par souci d'universalité, un "processus d'échange automatique et électronique de données structurées et normalisées" est prévu pour faciliter les échanges de données entre Ferti-WAL et les autres logiciels de gestion agricole (Isagri, Azobil, Garbo, Ariane, Ecoferme, Paexa, Indigo, etc.) et les logiciels de la Région wallonne.

En ce qui concerne la traçabilité de la production animale, FertiWAL permettra de remonter aux événements situés en amont de la production animale et qui concernent la production de son alimentation fourragère grâce au suivi parcellaire.

Le projet consiste principalement à vulgariser les résultats issus de la recherche agronomique et à simuler différents scénarios pour que l'agriculteur puisse réaliser des auto-évaluations de ses pratiques culturales et évaluer de manière prévisionnelle les impacts sur l'environnement de son exploitation (Godden et al. 2003).

EcoFerme

EcoFerme est un programme développé par C. Debouche et J. Lambin de la Faculté universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux avec le soutien de la direction générale de l'Agriculture de la Région wallonne qui permet de réaliser l'écobilan des exploitations agricoles (Debouche & Lambin 2002).

Principe

L'objectif est de fournir, de manière non contraignante, aux exploitants agricoles un outil d'auto-évaluation et d'auto-amélioration. Les informations nécessaires à la réalisation du bilan EcoFerme sont normalement connues par l'agriculteur et lui évitent de faire des mesures ou des analyses supplémentaires.

L'écobilan d'une exploitation agricole est une méthode d'évaluation environnementale qui effectue un bilan des matières et des énergies qui entrent et qui sortent de la ferme. La valeur des flux entrants et sortants sont soit quantifiés directement, soit obtenus par modélisation.

Indicateurs pris en compte

Dans EcoFerme, le système "exploitation agricole" est divisé en trois compartiments : le sol (cultivé par l'exploitation et de profondeur approximative de 1, 50 m), les cultures et les animaux. Ce système établit des échanges avec l'environnement qui a été compartimenté en 4 : l'atmosphère, les autres entreprises, le sol profond ainsi que les eaux souterraines et les eaux de surface (Debouche & Lambin 2002).

Entre les 7 compartiments décrits ci-dessus, 33 flux sont quantifiés pour 8 éléments N, P, K, C, Ca, Mg, H₂O (en kg) et pour l'énergie (en joules). Ceux-ci sont calculés à partir des produits échangés (production végétale, animale, forme d'énergie) et permettent de calculer les flux de substances polluantes (CO₂, CH₄, NH₃ et NO₃) et d'énergies non renouvelables (Debouche & Lambin 2003).

Ces valeurs permettent d'établir le bilan pour les 8 éléments et en énergie au niveau des 7 compartiments.

Caractéristiques structurelles de l'exploitation

- **Superficies**

La Surface Agricole Utile (SAU) est un indicateur de la consommation de l'espace. Il regroupe la superficie des terres sous labour et des prairies.

La superficie fourragère (SF) regroupe la superficie des prairies et des terres arables destinées à l'alimentation des animaux. Dans EcoFerme, elle est calculée dans la proportion établie par le fond d'investissement agricole.

- **Charge animale**

L'unité gros bétail (UGB) est une unité relative qui permet de quantifier l'importance du cheptel en convertissant l'importance des différents types d'animaux.

Le maintien de faibles charges en bétail fait partie des mesures agri-environnementales de la Région wallonne pour favoriser l'agriculture plus extensive. La charge en bétail doit se situer entre 0,6 et 1,4 UGB et un minimum de 90% de la superficie fourragère doit être en prairie permanente.

Indicateurs utilisés par EcoFerme (Debouche & Lambin 2003).

L'évaluation environnementale consiste en une série de 19 indicateurs environnementaux calculés à partir des flux. Leurs valeurs sont données en valeur absolue pour l'ensemble de l'exploitation, par hectare, par UGB ou par 1000 euros de marge brute standard (MBS) et par 1000 euros de valeur standardisée de la production (VSP).

- **Indicateurs économiques**

La marge brute standard (MBS) d'une exploitation est une valeur monétaire qui vaut la somme des MBS de chacune des spéculations de celle-ci et (Valeur brute + primes – coûts de production), valeurs définies par le Centre d'Economie Agricole.

- **Bilans**

Le bilan apparent en N, P, K et énergie comptabilise les entrées et sorties de ces éléments sous forme de produits achetés ou vendus à des tiers.

Le détail des flux et des bilans des éléments N, P, K, Mg, Ca, C, H₂O et de l'énergie au niveau des différents compartiments permettent de relativiser l'importance des différents processus qui entrent en jeu.

- **Echanges de polluants avec l'environnement**

Les émissions de dioxyde de carbone (CO₂) vers l'atmosphère résultent de la différence entre le processus de photosynthèse et la respiration des compartiments "plantes", "animaux" et "sol cultivé". Lorsque la part des cultures est suffisamment prépondérante dans l'exploitation par rapport à l'élevage, le bilan est négatif; ce qui signifie que le système est consommateur de CO₂.

Les émissions de méthane (CH₄) vers l'atmosphère sont produites par les ruminants et dépendent de la forme avec laquelle sont stockées les déjections animales.

Les émissions d'ammoniac (NH₃) vers l'atmosphère dépendent des espèces animales et de la forme avec laquelle sont stockées les déjections animales.

Les émissions de nitrates (NO₃) avec les eaux sont dues aux pertes par lessivage.

- **Rendements**

Les rendements en nutriments et en l'énergie au niveau des productions animales, végétales et de l'exploitation permettent d'évaluer l'efficacité avec laquelle sont utilisés les éléments nutritifs ou l'énergie dans les différentes parties de l'exploitation.

- **La couverture du sol**

La couverture du sol (somme de surface de chaque culture multipliée par une durée forfaitaire d'occupation du sol exprimée en fraction d'année / SAU) est exprimée en % et est à maximiser pour limiter les risques d'érosion et de lessivage d'azote.

- **La variation du stock d'azote organique dans le sol**

Ce type d'indicateur nous informe sur l'évolution du taux d'humus du sol. Cet indicateur doit être interprété en relation avec d'autres indicateurs. En effet, une variation positive ne sera bénéfique d'un point de vue environnemental que si les pertes sont faibles et, au contraire, si le taux d'humus de base est élevé, une variation négative ne correspond pas automatiquement à une perte dans l'environnement.

- **Fertilisation azotée**

Les quantités d'azote appliquées pour chaque culture sont à comparer avec les quantités maximales d'azote épandable pour les prairies ou les cultures en fonction de la situation de l'exploitation en zone vulnérable ou non. La fertilisation azotée totale se décompose en fertilisation par les déjections au pâturage (pour les prairies), et les épandages (pour l'ensemble de l'exploitation).

- **Lessivage des nitrates et risque de percolation des nitrates**

Les bilans en eau et en nitrate permettent d'estimer le risque de percolation de nitrates qui équivaut au rapport entre l'excédent d'azote minéral et l'excédent d'eau au niveau du sol. La teneur en nitrate de l'eau de percolation est déduite des quantités d'azote lessivées et du volume d'eau de percolation. Lorsque le risque de percolation de nitrates est supérieur à 50, le risque est considéré comme dangereux pour l'environnement. La teneur limite nitrates selon les normes est de 50 mg/l (MB 29/11/2002).

- **Stockage des effluents liquides**

Les capacités minimales de stockage des effluents liquides sont déduites du volume des effluents produits et peuvent être comparées à la capacité réellement disponible au niveau de la ferme. Elles doivent être suffisantes pour tenir 6 mois.

- **Pratiques agricoles**

Ces indicateurs permettent d'apprécier la proportion dans laquelle les pratiques d'application obligatoire, celles d'application conseillée et celles d'application volontaire sont respectées ou mises en œuvre.

- **Pesticides à risque**

Le nombre et la quantité de matières actives à risque permet d'estimer les dangers de les retrouver dans les eaux souterraines et dans les eaux de surface, ainsi que la toxicité potentielle pour la santé humaine, la faune sauvage et la faune aquatique.

Utilisation des résultats

Les résultats peuvent être comparés aux normes légales ou conseillées ou, à défaut, avec les résultats moyens d'exploitations d'orientation technico-économiques (OTE) similaire. En effet, les applications à 800 exploitations de spécialisations différentes des modèles Ecoferme ont été réalisées et servent de référentiel pour la comparaison.

Intérêt de la démarche

Cet écobilan permet d'analyser de manière détaillée le fonctionnement de l'exploitation, ses effets sur l'environnement et les conséquences de toute modification de la gestion de l'exploitation (plan de culture, cheptel, fumure, pratique phytosanitaire, etc.). L'agriculteur aura de cette manière une meilleure connaissance et une meilleure maîtrise des composantes de son exploitation (Debouche 2003).

La situation agricole en Hainaut

Il est difficile d'évaluer la situation agricole spécifique du Hainaut occidental car la plupart des chiffres sont donnés au niveau provincial, régional ou national.

La situation de l'agriculture hennuyère n'échappe pas à la tendance générale; le nombre d'exploitations du Hainaut a évolué de 8521 en 1990 à 6167 en 2000; soit une réduction de 2354 fermes en dix ans (Moortgat 2002). Dans un contexte économique, réglementaire et environnemental de plus en plus contraignant, beaucoup de petites exploitations ne sont plus viables comme activité principale. La diversification des cultures et des spéculations est un moyen d'assurer une certaine stabilisation du revenu final de l'exploitation. Les fermes hennuyères sont donc principalement en **polyculture et poly-élevage**.

Les cultures

En 2001 et 2002, les prairies représentent un tiers de la SAU hennuyère et les terres arables en représentent deux tiers. Les principales cultures sont les céréales (\pm 39% de la surface cultivée en Hainaut), les betteraves sucrières (16,8%), les pommes de terre (7,8%), les chicorées (3,8%) et le maïs ensilage (environ 13%) (C. R. E. P. A. 2002).

Les cultures de céréale sont essentielles pour les fermes mixtes qui sont consommatrices de paille pour les bovins. Pourtant, le prix du blé est en baisse; son revenu par hectare était sous la barre des 200 euros par hectare en 2002 pour le Province du Hainaut (C. R. E. P. A. 2002). Ce type de culture n'est rentable que grâce aux primes PAC. Au contraire, les quotas de production de la betterave sucrière font que cette culture est la plus rentable économiquement (revenu d'environ 1250 euros par hectares en 2002 pour le Hainaut). Les surfaces de culture de pomme de terre ont presque doublé en 10 ans et environ 70% de la production de pomme de terre de la Région wallonne est en Hainaut. Les cultures de chicorée ont aussi progressé pendant cette période. Le revenu de cette dernière est assez instable ces deux dernières années en Hainaut car il est passé de -125 euros par hectares en 2001 à plus de 600 euros par hectare en 2002. L'importance des cultures de maïs ensilage (20% de la culture du maïs de pays) est propre à cette région où l'élevage bovin est bien présent.

L'élevage

En 2001, le cheptel bovin comptait 430000 têtes (105 000 vaches laitières, 56000 vaches allaitantes et 270000 animaux d'élevage et d'engraissement). L'élevage de porc est assez stable (300000 porcs) et le secteur avicole est en légère progression (Deprez 2001). Des disparités sont visibles parmi les différentes zones géographiques du Hainaut. En effet, la moyenne des fermes de la zone "7" située au sud-ouest (Chimay, Beaumont) compte 118 UGB de bovins alors que celle des fermes de la zone "3" (Mouscron, Tournai) en compte 74. En ce qui concerne la charge en porcins, les fermes de la zone "4" de Comines montre une moyenne beaucoup plus élevée (8,7 UGB) que les autres (entre 0,1 et 3,5 UGB). Ces chiffres illustrent l'influence de l'agriculture flamande sur la commune de Comines.

La charge en bétail est considérable dans le Hainaut, et plus particulièrement dans le Hainaut occidental. En effet, de nombreuses communes hennuyères présentent un pourcentage de saturation en azote provenant des effluents d'élevage supérieur à 80% (Ministère de la région wallonne 2000). Quelques communes, notamment Mouscron et Comines-Warneton sont dans des situations extrêmes (pourcentage de saturation supérieur ou égal à 110 %).

La pollution en nitrate des eaux souterraines

La carte suivante "Nitrate dans les eaux souterraines" situe la moyenne des résultats des analyses en nitrate des eaux souterraines sur le territoire wallon entre 1998 et 2001 et en fonction des zones vulnérables, des zones soumises à contraintes environnementales particulières et des principales formations aquifères. On y constate que les teneurs moyennes en nitrates sont limitées à 10 mg/l au nord ouest du Hainaut et sont plus importantes à la frontière sud avec des valeurs supérieures à 50 mg/l dans les communes de Péruwelz et Honnelles. La relativement faible pollution en nitrate des eaux souterraines du Hainaut est étonnante lorsque l'on considère l'important taux de chargement animal de la Province. La situation opposée est observée dans le Sud Namurois où la pollution en nitrate des eaux de surface est plus importante (supérieure à 10mg/l) et la charge en bétail est moindre (la plupart des communes présente un pourcentage de saturation en azote provenant des effluents d'élevage inférieur à 80%).

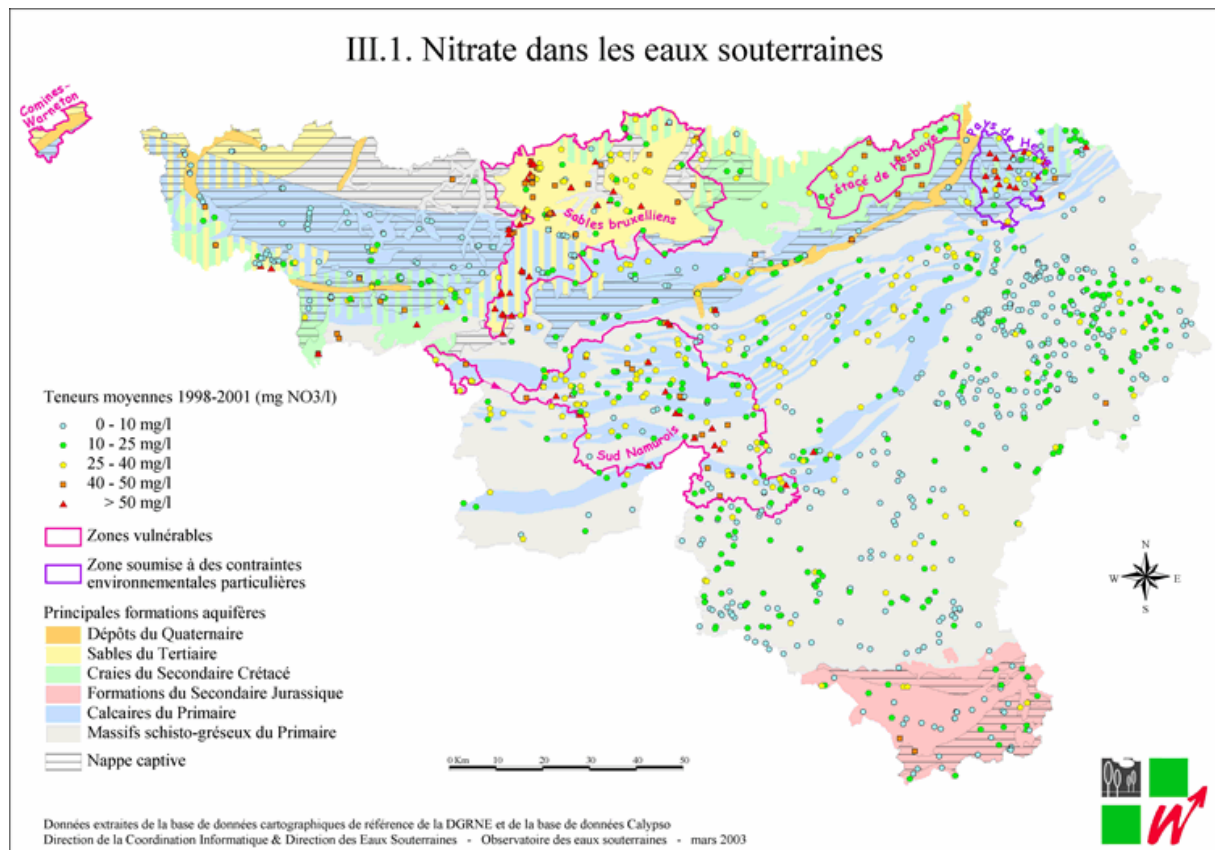


Figure 3 - Les nitrates dans les eaux souterraines de la Région wallonne (Observatoire des eaux souterraines 2003).

Pour gérer la pollution des eaux souterraines et de surface à partir des pratiques agricoles, il faut avoir une approche intégrée qui prend en compte (Withers & Lord 2002) :

- Les bilans en N et P et leurs différences du point de vue de leurs sources et de leurs cycles propres.
- Les dangers relatifs à l'utilisation des terres.
- L'adoption de dispositions sûres en relation avec les caractéristiques du paysage.
- La sensibilité du cours d'eau concerné.

Le bilan en azote est apparu comme un bon indicateur pour mesurer les augmentations potentielles des concentrations de nitrates dans les puits. D'autre part, les bilans en phosphore et en potassium sont de bons indicateurs des variations de leur concentration dans le sol (Wang et al. 1999).

La limitation des pertes en nutriments passe par une bonne gestion des déjections animales. En effet, le compostage permet de mieux valoriser les engrais de ferme dans les cultures ainsi que sur les prairies. (Benoît 2000).

Objectifs

L'application des instruments Ferti-MO et EcoFerme à différentes fermes de polyculture élevage du Hainaut occidental permettront de réaliser plusieurs objectifs :

Pour les concepteurs des programmes

L'analyse de données nouvelles est un test supplémentaire du bon fonctionnement des programmes.

Pour les agriculteurs

Il est évident que de tels bilans ne remplaceront jamais l'expérience des agriculteurs; par contre, ils peuvent fournir une vision supplémentaire élargie à l'environnement. La réalisation de l'écobilan (EcoFerme) et du bilan en nutriments (Ferti-MO) pour les trois fermes étudiées peut être une expérience enrichissante pour les agriculteurs en ce qui concerne la compréhension et la gestion de leur système mixte de polyculture élevage.

Pratiquement, cette démarche fournira aux agriculteurs :

- Une estimation de la valeur fertilisante et monétaire de leurs engrais de ferme,
- un plan de fumure,
- une modélisation des flux de matières et d'énergie,
- et des indicateurs environnementaux.

Pour l'environnement

La réalisation de ces bilans permettront de caractériser et d'évaluer les effets environnementaux de différentes exploitations hennuyères dans 2 optiques :

- 1° Appréhender les conséquences environnementales de différents modes d'exploitation (agriculture très intensive, intensive et raisonnée).

- 2° Caractériser le type d'agriculture qui se pratique en Hainaut occidental où la charge en bétail est forte et la pollution azotée des eaux souterraines est faible en comparaison avec les autres zones.

- 3° Le développement d'une telle approche est une étape essentielle pour le développement durable de l'agriculture en Région wallonne.

Matériel et méthodes

familiarisation avec les logiciels Ferti-MO et EcoFerme

L'ensemble des analyses et des tests ont été effectués sous "Windows 2000". Le logiciel EcoFerme a été mis à notre disposition par le Prof. Charles Debouche, responsable de l'unité "Mécanique des fluides et Environnement" de la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux dans le cadre d'une convention "de mise à disposition du logiciel EcoFerme" signée le 13/05/03.

Une dizaine de dossiers réalisés spécifiquement pour Ferti-MO dans le cadre d'Agra-Ost et du Parc naturel de l'Attert nous a été fournie par Mr Krafft (Centre de Recherche Agronomique de Gembloux, Section Biométrie). A partir de ces données adéquates, nous avons pu effectuer les premiers tests qui ont permis de comprendre le mode de fonctionnement du logiciel; la manière d'encoder et les liens entre les données introduites et les résultats. De même, des simulations ont été réalisées avec EcoFerme à partir de données fictives ou issues des annexes du manuel d'utilisation (Debouche & Lambin 2003).

Enquêtes auprès des agriculteurs

Exploitations étudiées

Notre étude se concentre sur le Hainaut occidental. Nous avons choisi des exploitations de polycultures élevages, un mode d'exploitation typique du Hainaut occidental pour lesquelles nous avons trouvé des modes d'exploitation divers :

Exploitation 1 : Agriculture intensive et raisonnée, (Peruwelz)

Exploitation 2 : Agriculture intensive, (Jurbise)

Exploitation 3 : Agriculture ultra intensive, (Comines-Warneton)

Il a été convenu que les données récoltées et les résultats obtenus resteraient anonymes.

L'accord des agriculteurs était une condition sine qua non pour réaliser ce type de bilan qui s'est déroulé dans un contexte de collaboration différent selon les exploitations :

L'un travaillait déjà en collaboration avec B. Godden et P. Couplet de l'unité de physiologie et écologie microbienne (UPEM) de l'ULB localisée au CRIA à Nivelles. Un second agriculteur participait pour la première fois à un travail de recherche sur les bilans. Enfin, la troisième exploitation a participé à "La mission d'étude sur l'adaptation du secteur agricole cominois aux exigences de la directive nitrate, volet gestion de la fertilisation", pour lequel un bilan azote ARIA a notamment été effectué (Frankinet et al 2002). Avec l'accord de l'agriculteur et avec la collaboration des auteurs du

bilan, certaines données déjà récoltées ont été récupérées dans le cadre de ce travail pour éviter à l'agriculteur de devoir fournir deux fois les mêmes renseignements. Ensuite, une rencontre avec l'agriculteur a été organisée afin de récolter les données supplémentaires nécessaires à la réalisation des bilans Ferti-MO et EcoFerme.

Ce travail est donc une étude de cas qu'il serait dangereux de généraliser à l'ensemble du Hainaut occidental.

Année prise en compte dans les bilans

L'écobilan se réalise pour un intervalle temporel de minimum 1 an étant donné le cycle saisonnier sur lequel est basé l'agriculture. L'idéal serait de prendre en compte toute la durée de la rotation pour intégrer l'historique de chaque parcelle au bilan (Sanderson et al. 1996) mais le nombre de données à récolter était trop important et dépassait le cadre du mémoire. De plus, les agriculteurs rencontrés ne pratiquent pas de rotation bien définie car ils doivent s'adapter chaque année aux contrats commerciaux ainsi qu'aux quotas.

Les bilans effectués dans le cadre de ce travail concernent l'année civile 2002 pour la simple et bonne raison que nous voulions nous baser sur les données les plus récentes possibles et que les données pour 2003 ne sont pas encore toutes disponibles.

Réalisation d'un questionnaire papier

Nous avons choisi de nous rendre chez les agriculteurs avec des questionnaires papier plutôt que des ordinateurs pour plusieurs raisons :

- L'utilisation du questionnaire papier est plus souple et permet d'intégrer les nuances apportées par l'agriculteur.
- Eviter l'archétype du "chercheur" équipé qui réglerait tous les problèmes de "l'homme de terrain".
- Eviter les risques de "bug" des programmes ou des ordinateurs.

Dans un premier temps, deux questionnaires papiers ont été utilisés :

- Le concepteur informatique du logiciel Ferti-MO nous a fourni une sortie papier qui devait être légèrement modifiée pour englober l'ensemble des champs du programme.
- Un fichier de données vide du logiciel Ecoferme a été transformé en format excell par impression sur fichier "texte". Il restait à mettre en page les tableaux pour faciliter la lecture du questionnaire.

- Enquête mixte (voir annexe I)

Il est vite apparu nécessaire d'effectuer un questionnaire synthétique, combinant les questionnaires des deux programmes et évitant les questions redondantes. L'objectif principal était d'accélérer et de simplifier les entretiens avec les agriculteurs en groupant les questions qui concernent un même sujet (cheptel, stockage, cultures) et ainsi, éviter à l'agriculteur de devoir aller d'un classeur à l'autre.

- Entretien

Les questionnaires ont été remplis par l'enquêteur qui explicitait au maximum chaque question. Dans certains cas (manque de temps ou données non accessibles directement), une liste de produits ou de pratiques à cocher a été remplie par l'agriculteur lui-même en l'absence de l'enquêteur.

Encodage des données

L'encodage des données a été effectué le plus rapidement possible après l'enquête pour pouvoir adapter en toute fidélité les nuances apportées par l'exploitant. Nous avons pris plusieurs fois contact avec les agriculteurs lorsque des précisions étaient nécessaires.

Lorsqu'un plan de fumure n'était pas prévu (exploitation 2), les parcelles caractérisées par les mêmes conditions (assolement, type de sol climat, mode d'exploitation, date des travaux, des semis, des épandages et des applications de produits phytosanitaires) ont été traitées comme une seule parcelle. Par conséquent, plusieurs cultures ont été encodées en tant que parcelle. Cette méthode plus rapide et moins contraignante pour l'agriculteur ne permet pas de réaliser un plan de fumure détaillé.

Plan de fumure

Un plan de fumure détaillé a été réalisé pour les exploitations 1 et 2. A cet effet, de nombreuses données supplémentaires ont été récoltées auprès de l'agriculteur :

- Les assolements ont été notés pour toutes les parcelles; à la fois pour l'année étudiée (2002) et pour l'année suivante (2003), y compris les cultures dérobées qui ont eu lieu entre les deux.
- Tous les événements (semis, fertilisation organique, fertilisation minérale, récolte produit, récolte sous produit et enfouissement) ont été enregistrés par culture en prenant en compte la date, les entrées et les sorties spécifiques à chacun des événements.
- Les rendements escomptés par les agriculteurs pour les cultures ont été encodés en kg de matière fraîche par hectare.

- Les analyses de terre datant de 2002 et concernant la plupart des parcelles des exploitations ont été introduites pour préciser l'analyse Ferti-MO.

Dans le cas de l'exploitation 1, un deuxième plan de fumure a été réalisé avec les mêmes données que le premier mais sans prendre en compte les analyses de terre. Ce plan de fumure hypothétique a permis d'évaluer à quel point l'encodage de ces analyses permet de préciser les estimations "par défaut" du logiciel Ferti-MO.

Avec la même démarche, un troisième plan de fumure a été réalisé avec les mêmes données que le premier mais sans prendre en compte les cultures dérochées. Ce plan de fumure hypothétique a permis d'évaluer les effets, parcelle par parcelle, des engrais verts.

Pour l'exploitation 1, les analyses des effluents d'élevage datant du premier trimestre 2003 (lisier, fumier mou, fumier pailleux et compost) ont été utilisées pour évaluer l'écart possible entre les mesures ponctuelles et les estimations moyennes et par défaut de Ferti-MO pour les teneurs en P_2O_5 , K_2O , CaO , MgO et Na_2O .

Interprétation des résultats

Tout au long de l'interprétation des résultats, nous avons veillé à éliminer au maximum les erreurs qui ont pu se glisser à différents niveaux (encodage, analyse, transferts de données, etc.).

La présentation des résultats a été adaptée de manière à faciliter les comparaisons entre exploitations (tableaux de comparaisons, abréviations explicitées, graphiques).

Pour évaluer les estimations des programmes concernant la production et la composition des engrais de ferme, ceux-ci ont été comparés aux valeurs réelles données par les agriculteurs.

Ferti-MO

L'interprétation des résultats Ferti-MO a été effectuée en conservant la structure des tableaux imprimés (cf. Introduction). La cohérence des résultats a été testée par les nombreux recoupements possibles entre ceux-ci.

Dans la mesure du possible, nous avons contacté les agriculteurs pour évaluer la précision des estimations Ferti-MO et mettre en évidence une éventuelle erreur.

EcoFerme

Parmi les nombreux résultats EcoFerme, nous avons pris en compte les caractéristiques structurelles de l'exploitation et nous nous sommes concentrés sur les indicateurs; le lessivage des nitrates; la fertilisation azotée; le stockage des engrais de ferme; les pratiques agricoles et les produits phytosanitaires. Les flux et les bilans d'azote, calculés par hectare ou pour toute l'exploitation, ont été

étudiés en détail. Par contre, les bilans en phosphore, potassium, calcium, magnésium, carbone, eau et énergie n'ont pas été discutés (excepté les flux pris en compte dans les indicateurs). Ce choix, nécessaire dans le cadre de ce mémoire, a été guidé par le fait que l'azote est un élément clé dans les cycles de nutriments propres à l'agriculture.

Résultats

Pratique de l'utilisation des programmes

Questionnaire synthétique "Ferti-MO et EcoFerme"

Un questionnaire mixte a été réalisé pour intégrer les formulaires spécifiques aux deux logiciels. Les tableaux de types "entrée libre" accompagnés de listes exhaustives nous sont apparus plus pratiques et moins consommateurs de papier (cf. annexe I).

Le tableau suivant reprend tous les facteurs susceptibles d'influencer la durée des enquêtes (récolte des données spécifiques au plan de fumure non comprise). Il est évident que les enquêtes menées avec ce questionnaire sont plus courtes, ce qui n'est pas négligeable ni pour l'enquêteur, ni pour l'agriculteur dont l'emploi du temps est chargé. De plus, ceux-ci perdent moins vite patience et ont plus de chance de rester précis jusqu'au terme de la rencontre.

Tableau 2 – Conditions des enquêtes

Exploitation	1	2	3
Date de l'enquête	10/07/03	19/07/03	20/08/03
Type de questionnaire	2 questionnaires : Ferti-MO (7 pages) et Ecoferme (18 page)	Mixte (18 pages)	Mixte (18 pages) partiellement et préalablement complété avec les données du bilan ARIA
Nombre d'enquêteurs	2	1	1
Organisation de l'agriculteur (classeurs, registres à jour, etc.)	Très bonne	Bonne	Bonne
Durée d'enquête	3 h	1h 45	1h 45

Résultats de l'analyse des programmes

Résultats de l'analyse Ferti-MO

Description du cheptel et production d'azote

A partir de la description du cheptel et de sa stabulation, Ferti-MO a estimé les quantités d'azote produites (tableau 3).

Tableau 3 – Description du cheptel et production d'azote.

Exploitation	1	2	3	
Description du cheptel ²	Bovins (laitiers) < 100 têtes	Bovins (lait et viande) < 200 têtes	Bovins (laitiers) < 50 têtes	Porcins > 2000 têtes
Importations	0	0	0	0
Exportations	0	0	0	0
N produit selon normes ³ (Kg N/ tête. an)	5190	9931	2507	8658
N produit selon Ferti-MO (Kg N/ tête. an)	6758	10790	1712	13278
N maîtrisable (Kg N/ tête. an)	3191	3698	1611	13278
N restitué en prairie (Kg N/ tête. an)	3567	7092	101	0
Proportion : maîtrisable/total (%)	47	34	99	

Aucune importation ou exportation d'animaux n'a eu lieu dans les exploitations étudiées en 2002.

Pour les trois exploitations, le **total de la production d'azote** donné par Ferti-MO est supérieur aux valeurs normatives données dans l'annexe V de l'Arrêté du gouvernement wallon relatif à la gestion durable de l'azote en agriculture (M. B. 29/11/2002).

² Le nombre de têtes a été arrondi par souci d'anonymat.

³ "N normes" correspond à la production annuelle d'azote par catégorie animale après déduction des pertes inhérentes au stockage (M. B. 29/11/2002).

Les estimations de Ferti-MO sont plus précises car elles prennent en compte le type d'animal et son mode de stabulation alors que les normes tiennent uniquement compte du type d'animal, indifféremment de son mode de stabulation. A titre d'exemple, Ferti-MO estime les productions annuelles d'azote dans les engrais de ferme à respectivement 125, 100 et 60 unités d'azote par vache laitière des fermes 1, 2 et 3 alors que les normes donnent une valeur identique pour les trois exploitations (90 unités d'azote par vache laitière et par an).

La proportion d'azote maîtrisable est presque de 100% dans l'exploitation 3 car les porcs qui sont responsables de l'essentiel de la production d'azote (89%) sont gardés à l'étable tout au long de l'année.

Elle est beaucoup plus importante dans la première exploitation que dans la deuxième car les bovins de la première ferme sont restés, en 2002, plus longtemps dans les étables que les bovins de l'exploitation 2.

A titre de comparaison, une proportion de 45% d'azote maîtrisable a été calculée pour une exploitation (49,3 UGB) où l'ensemble des bovins sont en stabulation pendant 5 mois par an excepté les génisses de moins d'un an qui le sont toute l'année (Creusot 1996). Ce résultat est similaire au résultat de l'exploitation 1 (45% \approx 47% d'azote maîtrisable et durée de stabulation de 5 mois jour et nuit \approx 4 mois de stabulation jour et nuit et 2 mois de stabulation nuit).

Une plus grande **proportion d'azote restitué** en prairie ne signifie pas nécessairement que la pollution est plus grande les risques de lessivage y sont moins importants. Cependant les risques de pertes d'azote augmentent dans les cas où le pâturage se fait de manière prolongée car dès l'automne, la croissance des végétaux ralentit et assimile moins bien l'azote qui est plus facilement lessivé (Stilmant et al. 2000). Par contre, le bilan en azote maîtrisable est utile pour évaluer l'emprise que possède l'agriculteur sur la redistribution d'engrais organique sur ses terres.

Le bilan en azote maîtrisable constitue un complément au bilan d'azote global car il ne permet pas de diagnostiquer, à lui seul, le risque de pollution des eaux, mais il apporte des renseignements supplémentaires à l'agriculteur pour gérer les engrais de ferme produits dans son exploitation (Creusot 1996).

Productions et stockage des effluents d'élevage

Les effluents d'élevages pris en compte par Ferti-MO sont les déjections animales (effluents solides et liquides) et les eaux de laiterie.

- **Production et stockage des effluents liquides**

Le tableau suivant récapitule les estimations des productions d'engrais fermiers liquides et des conditions de stockage dans les trois fermes. A chaque fois que plusieurs stocks contiennent le même type d'effluent nous avons rassemblé les valeurs données par Ferti-MO pour chaque stock. (par exemple les 2 fosses à lisier de l'exploitation 2 ont été présentées comme une seule).

Tableau 4 - Production et stockage des effluents liquides

Exploitation	1	2	3	
Type d'unité de stockage	Fosse à lisier (sous grilles)	2 fosses à purin (citerne couverte)	2 fosses à lisier de bovin (sous grilles)	2 fosses à lisier de porc (sous caillebotis)
Type d'effluent	Lisier de bovin	Purin de bovin	Lisier de bovin	Lisier de porc
Capacité de(s) (l')unité(s) (m³)	302,4	55	261	744
Volume d'effluent stocké (m³)	130	55	0	0
Volume d'effluent produit en 2002 (m³)	320 263 m ³ de lisier dilués dans 57 m ³ d'eau	88	399	2 178
Capacité d'effluent nécessaire (m³)	160	44	1 139	969
Valeur de l'effluent produit (euros)	1 383	287	1 849	16 526
N (U)	1 185	255	1 551	13 278
P₂O₅ (U)	593	18	748	12 697
K₂O (U)	1 185	485	1 513	4 578
MgO (U)	185	Non donné	326	3 754
Na₂O (U)	289	Non donné	438	4 378
CaO (U)	631	Non donné	1 051	11 508

Remarquons que le volume de lisier produit en 2002 calculé par Ferti-MO pour l'exploitation 1 d'après la description du cheptel et de la stabulation (320 m³) correspond exactement au volume donné par l'agriculteur lors de l'enquête. En effet, environ 220 m³ de lisier (stock d'hiver) sont épandus en avril et le stock d'été (de plus ou moins 100 m³) est épandu entre fin août et début septembre. Cette vérification n'a pas été possible pour les exploitations 2 et 3 car les fosses reçoivent de l'eau dont le volume n'est pas maîtrisé (eaux de pluie et eaux de nettoyage).

Les capacités de stockage des engrais de ferme liquides sont, dans les trois exploitations suffisantes pour stocker les effluents pendant 6 mois comme l'impose l'Arrêté wallon relatif à la gestion durable de l'azote en agriculture (MB 29/11/2002).

- **Production et stockage des effluents solides**

Le tableau suivant récapitule les estimations des productions d'engrais fermiers solides et des conditions de stockage dans les trois fermes. A chaque fois que plusieurs stocks contiennent le même type d'effluent nous avons rassemblé les valeurs données par Ferti-MO pour chaque stock.

Tableau 5 – Production et stockage des effluents solides.

Exploitation	1	2		3
Type d'unité de stockage	Tas sur terre	Tas sur béton	Tas sur terre	Tas sur béton
Type d'effluent	Compost	Fumier	Fumier	Fumier
Volume de l'unité (m³)	Non délimité	728	Non délimité	400
Volume d'effluent stocké (m³)	Non mesuré	564	Non mesuré	0
Volume d'effluent produit (m³)	596	385	601	36
Valeur de l'effluent produit (euros)	2622	1842	2541	73
N (U)	2006	1348	2095	60
P₂O₅ (U)	1073	889	681	25
K₂O (U)	2537	1671	2784	68
MgO (U)	678	512	584	13
Na₂O (U)	241	135	293	18
CaO (U)	1631	1348	1019	45

Le mode de stockage du fumier pailleux issu des stabulations paillées est différent selon les exploitations. L'exploitation 1 dispose d'un tas de compost sur terre et non couvert tandis que l'exploitation 2 dispose de fumier en tas couvert sur béton ainsi qu'en tas sur champs. Enfin, l'exploitation 3 dispose uniquement d'un tas sur béton non couvert.

L'exploitation 3 produit annuellement très peu de fumier par rapport aux deux autres exploitations car seuls 6 veaux de moins de six mois sont en stabulation paillée.

Lors du compostage, l'ammoniaque très concentré dans les effluents frais est rapidement converti en forme organique et limite fortement les pertes en nutriment pendant le stockage et l'épandage (Godden & Penninckx 1997).

Comparaison avec les valeurs normatives

La quantité annuelle d'azote produite dans le lisier de l'exploitation 1 (1185 kgN) calculée par Ferti-MO est légèrement inférieure à la valeur calculée (1052 kgN) d'après la composition azotée moyenne du lisier bovin figurant à l'annexe VI de l'Arrêté wallon relatif à la gestion durable d'azote en agriculture (MB 29/11/2002). D'autre part, la quantité annuelle d'azote produite dans le purin de l'exploitation 2 (255 kgN) est égale à la valeur calculée d'après la composition azotée moyenne du purin de vache en stabulation entravée reprise dans l'Arrêté (MB 29/11/2002).

Les quantités annuelles d'azote produites dans les effluents solides calculées par Ferti-MO sont inférieures (d'environ 30%) aux valeurs calculées d'après l'annexe VI de l'Arrêté wallon relatif à la gestion durable d'azote en agriculture (MB 29/11/2002).

Les quantités d'azote données par Ferti-MO sont plus précises que celles calculées à partir des annexes de l'Arrêté car elles sont calculées spécifiquement en fonction du type de bovin. En effet, dans Ferti-MO, le taux est de 3,5 KgN/m³ de fumier pailleux pour les vaches laitières et autour de 3,7 kgN/m³ de fumier mou pour le bétail d'élevage alors que l'Arrêté ne donne qu'un taux unique de 5kgN/t de fumier bovin.

De plus, la composition des déjections animales dépend fortement de leur alimentation. Par exemple, une truie excrétera respectivement 17,5 et 23 kg d'azote si son alimentation contient 12% et 17% de protéines (Dourmad et al. 1992).

Comparaison des teneurs moyennes en P₂O₅, K₂O, CaO, MgO et Na₂O obtenues par analyse du lisier de l'exploitation 1 avec celles données par Ferti-MO.

Bien que les moyennes estimées par Ferti-MO pour l'année 2002 soient des valeurs par défaut et qu'elles ne soient pas directement comparables avec les résultats d'analyses ponctuelles, cette comparaison permet d'avoir une idée sur l'écart possible entre les estimations et les mesures.

Le tableau suivant reprend les résultats des analyses faites en début 2003 pour les stocks d'hivers 2002-2003 vis à vis des teneurs moyennes calculées à partir des résultats Ferti-MO pour l'année 2002.

Les teneurs en P₂O₅, K₂O et MgO données par Ferti-MO pour le **lisier** produit en 2002 dans l'exploitation 1 sont comprises dans la fourchette des teneurs mesurées en début 2003 dans les

échantillons prélevés par P. Couplet et B. Godden et analysés par le Centre Provincial de l'Agriculture et de la Ruralité, Station provinciale d'analyses agricoles de La Hulpe. Les teneurs en CaO données par Ferti-MO sont plus basses et celles en Na₂O sont plus hautes que les mesures.

Les analyses de **fumier pailleux** de vaches laitières confirment les données de Ferti-MO pour P₂O₅ et MgO mais donnent des valeurs plus élevées pour les autres oxydes.

Les analyses de fumier mou montrent des valeurs qui peuvent être fort variables (entre 2,14 et 4,78 (kg/T m.f.⁴) pour le P₂O₅) et qui sont plus élevées que celles données par défaut par Ferti-MO.

Tableau 6 - Comparaison des teneurs moyennes en P₂O₅, K₂O, CaO, MgO et Na₂O obtenues par analyses du lisier de l'exploitation 1 avec celles données par Ferti-MO.

Exploitation 1	Analyse du Centre Provincial de l'Agriculture et de la Ruralité, Station provinciale d'analyses agricoles réalisées pour l'UPEM ULB - CRIA ⁵ de Nivelles, ULB.			Valeurs par défaut estimées par Ferti-MO (moyenne pour la production en 2002)
Lisier de bovin				
N° d'analyse	N° AO03/155	N° AO03/158	N°AO03/176	
Date de réception	15/04/03	15/04/03	23/05/03	
P ₂ O ₅ (kg/T.m.f. ⁶)	1,47	1,08	1,92	1,85
K ₂ O (kg/T.m.f.)	4,09	2,52	3,76	3,70
CaO (kg/T.m.f.)	4,13	3,32	3,29	1,97
MgO (kg/T.m.f.)	1,14	0,78	1,54	0,58
Na ₂ O (kg/T.m.f.)	0,61	0,43	0,84	0,90
Fumier pailleux de vaches laitières				
N° d'analyse	AO03/153	AO03/178	Valeurs par défaut estimées par Ferti-MO	
Date de réception	15/04/03	23/05/03		
P ₂ O ₅ (kg/T.m.f.)	2,39	2,10	2,31	
K ₂ O (kg/T.m.f.)	6,71	7,83	4,34	
CaO (kg/T.m. f.)	6,42	5,26	3,50	
MgO (kg/T.m.f.)	1,23	1,22	1,33	
Na ₂ O (kg/T.m. f.)	0,63	0,80	0,35	
Fumier mou de bétail d'élevage				
N° d'analyse	AO03/157	AO03/154		

⁴ "kg/T.m.f." signifie "Kilos par tonne de matière fraîche".

⁵ CRIA : Centre de Recherche industrielle et agronomique de Nivelles, ULB.

⁶ M. f. : matière fraîche

Date de réception	15/04/03	15/04/03	Valeurs par défaut Ferti-MO
P ₂ O ₅ (kg/T.m.f.)	2,14	4,78	1,05
K ₂ O (kg/T.m.f.)	7,91	4,81	4,13
CaO (kg/T.m.f.)	4,67	7,33	1,61
MgO (kg/T.m.f.)	1,44	1,52	0,86
Na ₂ O (kg/T.m.f.)	0,91	0,75	0,48

En conclusion, les valeurs données par Ferti-MO ont une autre portée que les analyses ponctuelles car elles sont intégrées pour l'ensemble de la production sur l'année étudiée et sont mieux adaptées pour la gestion des engrais de ferme. Cette moyenne annuelle peut s'avérer très proche de la réalité comme c'est le cas dans cette comparaison avec les teneurs du lisier en P₂O₅, K₂O et MgO et les teneurs du fumier pailleux en P₂O₅ et MgO. Néanmoins, les écarts peuvent dans certains cas être plus importants; c'est pourquoi le logiciel Ferti-MO donne l'opportunité d'encoder les analyses pour chaque effluent épandu séparément.

Production et stockage des eaux de laiterie

Les valeurs de production et de stockage des eaux de laiterie obtenues pour les trois exploitations sont reprises dans le tableau qui suit.

Tableau 7 – Valeurs de production et stockage des eaux de laiterie.

Exploitation	1	2	3
Matériel de traite	Salle de traite 2X3	Pipeline 7 griffes	pipeline 5 pots
Production d'eau de laiterie totale (m ³)	256	138	Non mesurable
Eaux blanches du matériel de traite (m ³)	146	110	44
Eaux blanches de refroidissement (m ³)	37	15	73
Eaux vertes (m ³)	73	13	Non mesurable
Destination principale des eaux	Egouts	Sol	Fosse lisier bovin (pour les 44 m ³ des eaux blanches du matériel de traite) Fossé (eaux blanches de refroidissement et eaux vertes).

La prise en compte des eaux de laiterie s'avère importante pour les dilutions d'effluents liquides (fosses à lisier et à purins). En effet, cette dilution modifie la teneur en nutriments des quantités épandues et donc le total des éléments fertilisants apportés.

De plus, un apport trop important dans les stocks d'effluent liquide peut diminuer significativement la durée possible de stockage de ceux-ci sous la norme des 6 mois.

La consommation d'eau de laiterie est presque 2 fois plus importante dans l'exploitation 1 que dans la 2. Le type de matériel de traite influence beaucoup la quantité d'eau consommée. En effet, les volumes mensuels d'eau blanche et verte de référence peuvent varier de 16 m³ pour une salle de traite 2 x 3 postes à 82 m³ pour une salle de traite par l'arrière (TPA) 2 x 12 postes (Guillaumin et al. 2003). Les 3 fermes étudiées stockent et épandent une partie de leurs eaux de laiterie et éliminent l'autre. La faible teneur en minéraux de ces eaux est souvent d'un intérêt minime par rapport aux coûts de stockage et d'épandage et donc, selon les conditions, leur traitement peut s'avérer avantageux (Guillaumin et al. 2003).

Conclusion concernant les stocks d'engrais de ferme

- **Bilan du stockage**

Un bilan des stocks peut être calculé pour chaque exploitation à partir du tableau des résultats obtenus avec l'analyse Ferti-MO.

Tableau 8 – Bilan du stockage.

Exploitation 1	Entrée (m ³ /an)	Sortie (m ³ /an)	Solde (m ³ /an)
Fosse à lisier	Production lisier : 263	Epandage lisier : 198	0
	Eau verte : 37	Mélange au compost : 122	
	Eau de pluie : 20	--	
	Total : 320	Total : 320	
Tas de compost	Fumier de vache laitière : 354	Compost épandu : 663,7	54,3
	Fumier de bétail d'élevage : 242	--	
	Lisier de bovins : 122	--	
	Total entrée : 718	Total sortie : 663,7	
	Total général : 1038	Total général : 861,7	

Cette vision détaillée sur les contributions de chaque type d'animal, pour chaque type de stabulation et selon l'époque de l'année est très pratique pour l'agriculteur. De plus, l'indication de la valeur

monétaire des engrais de fermes permet de sensibiliser l'agriculteur sur l'importance des apports issus de l'élevage.

Description des superficies de l'exploitation

Le tableau suivant décrit les proportions de la SAU totale des exploitations qui sont utilisées en terres arables et en prairies.

Tableau 9 – Descriptions des superficies de l'exploitation.

Exploitation	1	2	3
Superficie totale arrondie⁷ (ha)	100	75	25
Superficie de terres arables (% de la superficie totale)	96	61	81
Superficie de prairies permanentes pâturées (% de la superficie totale)	4	39	0
Superficie de prairies permanentes mixtes (% de la superficie totale)	0	0	12
Superficie de prairies permanentes fauchées (% de la superficie totale)	0	0	7
LS-Base	0,37	0,9	5,03
LS-Contrats	0,37	0,9	5,03
LS-Interne	0,37	0,9	5,03
LS-Dérogatoire	0,34	0,79	3,44
LS-Zone vulnérable	Sans objet	Sans objet	Excès (valeur non donnée par Ferti-MO)

La superficie agricole utile (SAU) totale est plus importante dans l'exploitation 1 et est principalement constituée cultures. L'exploitation 2 montre une plus grande proportion de prairies permanentes pâturées.

Le **taux de liaison au sol** de base (cf. introduction) est beaucoup moindre dans l'exploitation 1 que dans les exploitations 2 et 3. Cette grande différence s'explique par le fait que l'exploitation 1 détient moins d'animaux et a une plus grande SAU que les deux autres fermes. Le taux de liaison au sol de base calculé pour l'exploitation 2 (0,9) est à la limite de la valeur unitaire permise par l'Arrêté relatif à la gestion durable de l'azote en agriculture. Par contre, celui de la ferme 3 est largement au delà des valeurs permises. L'agriculteur devra conclure des contrats de valorisation (cf. introduction) dans les

⁷ Valeurs arrondies par soucis d'anonymat.

années à venir. Le taux de liaison au sol dérogatoire est également largement supérieur aux normes (MB 29/11/2002).

Les valeurs des LS-Contrat et LS-Internes sont égales au LS-Base pour les trois exploitations car aucune exportation ou importation d'effluent n'a eu lieu pour celles-ci en 2002.

Description des parcelles

Ferti-MO indique les superficies épanchables pour chaque parcelle à partir de leurs caractéristiques (nom, superficie, zone, climat, nature du sol, superficie d'une étendue d'eau et longueur de cours d'eau longeant (1 rive) ou traversant (2 rives) la parcelle).

Toute la superficie de l'exploitation 3 est située en zone vulnérable et est donc soumise à des contraintes réglementaires particulières (cf. Introduction).

Toute la SAU des trois exploitations a été considérée comme épanchable car les surfaces d'eau sont nulles ou ont été considérées comme négligeables.

Toute la SAU de l'exploitation 1 est limono-argileuse. Par contre, l'exploitation 2 est située sur trois types de sol : sol sablo-limoneux, limono-argileux et sableux.

Pour toutes les parcelles de toutes les exploitations étudiées, le climat a été décrit comme "normal" par les agriculteurs (aucune parcelle particulièrement exposée).

- **Assolements**

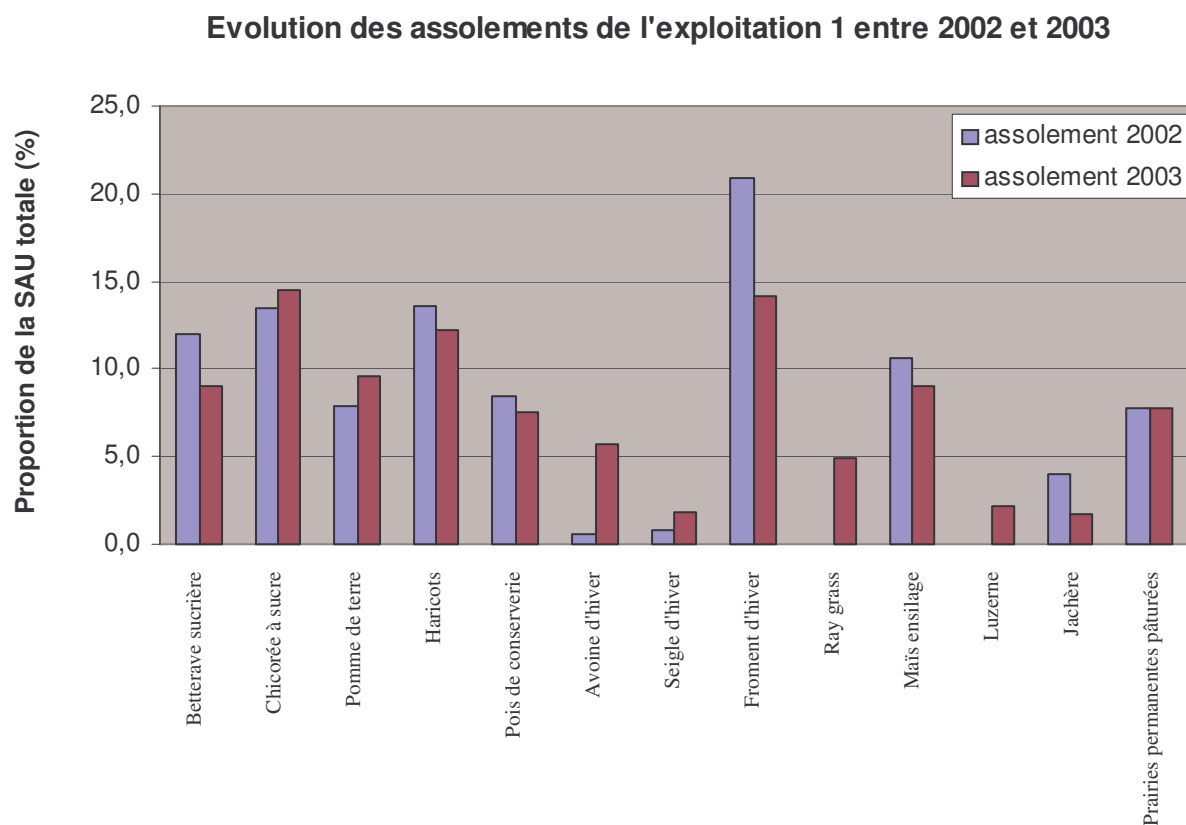
Aucune des exploitations étudiées ne pratique de rotation bien définie car les successions de cultures dépendent des contrats commerciaux. Cependant, pour des raisons de calendrier, la culture de maïs ensilage (d'avril/mai à octobre) précède souvent la culture du froment d'hivers (de novembre à fin juillet) qui est suivie d'une culture de légumineuse (août jusqu'à avril). L'exploitation 3 pratique davantage de monocultures de maïs ensilage.

Toutes les parcelles de sol sableux de l'exploitation 2 sont des prairies permanentes pâturées. Cette pratique doublement avantageuse car les sols sableux sont moins productifs et les prairies permettent de limiter les pertes en nitrates dans les sols sableux.

Plan de fumure pour l'exploitation 1

Le logiciel Ferti-MO se base sur l'année de référence 2002 afin de proposer un plan de fumure pour 2003. Les assolements de 2002 sont donc pris en compte dans les prévisions de 2003.

Graphique 1 - Evolution des assolements de l'exploitation 1 de 2002 à 2003



L'évolution des assolements de l'exploitation 1 est relativement stable entre 2002 et 2003 si ce n'est une modification dans la production de céréales. En effet, la surface de culture de froment d'hiver est fortement diminuée en 2003 par rapport à 2002 (-7% de la SAU) mais elle est en grande partie remplacée par d'autres céréales qui sont l'avoine et le seigle d'hiver (+6% de la SAU). Deux nouvelles cultures fourragères voient le jour en 2003 : le ray grass et la luzerne. Les rendements escomptés par l'agriculteur sont donnés dans le tableau suivant.

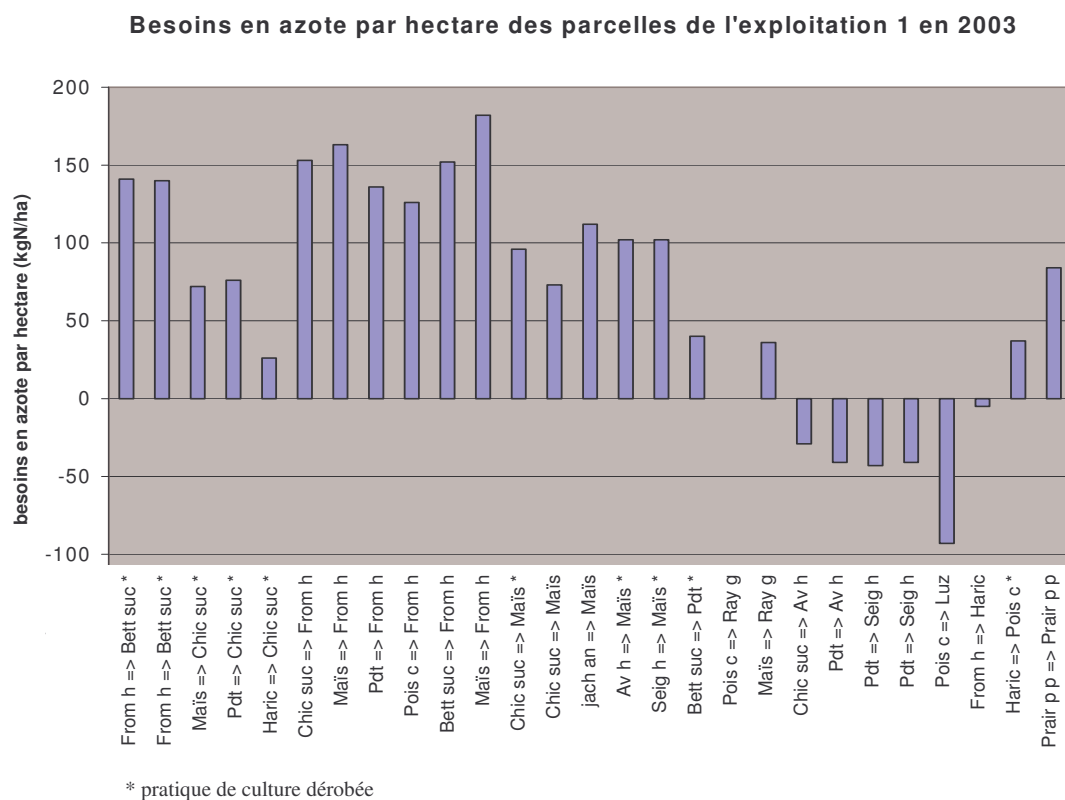
Tableau 10 - Rendements espérés par l'exploitant agricole

Culture	Rendement escompté (tonne/ha)
Betterave sucrière	72
Chicorée à sucre	40
Pomme de terre	40
Haricot	10
Pois de conserverie	7
Froment d'hiver	8
Seigle d'hiver	5
Avoine hiver	5

Les rendements des cultures fourragères de Ray grass et de maïs ensilage étant difficilement quantifiables, l'analyse a été réalisée par défaut avec des valeurs moyennes de productivité.

Les besoins en azote par hectare calculés par Ferti-MO sont présentés dans le graphique suivant. Leur valeur pour les différentes parcelles de l'exploitation 1 varie entre +182 kgN/ha et -93 kgN/ha. Ces valeurs prennent en compte les exigences en azote de la culture prévue en 2003, le rendement voulu par l'agriculteur, les analyses de terre datant de 2002, la fertilisation minérale et organique antérieure ainsi que les résidus de l'année précédente (cf. introduction).

Graphique 2 - Besoins en azote des parcelles par hectare.



Les parcelles destinées aux cultures de froment d'hiver, de maïs ensilage et de betterave sucrière présentent les besoins les plus importants. En effet, les besoins de base prévus par Ferti-MO sont de 240 kgN/ha pour le froment d'hiver, 200 kgN/ha pour le maïs et 180kgN/ha pour la betterave sucrière. Ces valeurs sont les plus importantes des cultures prises en compte (excepté le Ray grass dont le besoin de base vaut 350 kgN/ha mais que la correction "rendement" diminue à 105 kgN/ha). Les **rendements** demandés par l'agriculteur diminuent le besoin de base de 48 kgN/ha pour le froment d'hiver, n'apportent pas de modification pour le maïs et augmentent de 19 kgN/ha le besoin de base des betteraves sucrières. Les quelques variations visibles entre ces parcelles ayant le plus grand besoin d'azote dépendent de la **fertilisation minérale** (apport minéral entre 15 et 110 kgN/ha) et **organique**

(apport organique entre 0 et 14 kgN/ha) appliquée l'année précédente. L'effet de la "**culture précédente**" varie entre -25 (culture précédente = maïs ensilage) et +25 (culture précédente = pomme de terre).

Les parcelles de chicorée à sucre présentent des besoins en azote entre 26 kgN/ha et 72 kgN/ha. Leur besoin de base est de 140 kgN/ha et n'est pas corrigé par le rendement désiré par l'exploitant agricole. L'effet de la culture précédente (+10 kgN/ha) est identique pour toutes les parcelles de chicorées à sucre. L'apport d'azote grâce à la fertilisation minérale de 2002 corrigée par les analyses de terre varient de 52 à 104 kgN/ha et la fertilisation organique sur la parcelle d'assolements "maïs => chicorée à sucre" a diminué le besoin de cette parcelle en azote (6 kgN/ha).

Les parcelles prévues pour la pomme de terre, les pois de conserverie et le ray grass présentent des besoins en azote entre 0 kgN/ha pour le ray grass et 40 kgN/ha pour la pomme de terre. Le besoin de base pour la culture de pomme de terre est estimé à 100 kgN/ha. 11 kgN/ha en sont substitués en raison du rendement désiré par l'agriculteur; 25 kgN/ha pour la fertilisation minérale de la parcelle en 2002; 14 kgN/ha pour la fertilisation organique et 10 kgN/ha pour la culture précédemment implantée. Les besoins de base du Ray grass sont très importants (350 kgN/ha) mais le rendement moyen demandé diminue cette valeur de 250 kgN/ha. La grande différence observée entre les besoins des 2 parcelles de Ray grass résultent principalement de l'effet de la culture précédente. En effet, la première parcelle (besoin final de 0 kgN/ha) bénéficie de beaucoup d'azote (40 kgN/ha) issu de la culture de légumineuse précédente (pois de conserverie) qui est fixatrice d'azote.

En ce qui concerne la culture de pois de conserverie, le rendement demandé corrige à la hausse le besoin de base (40 kgN/ha de besoin de base plus 22 kgN/ha de rendement). Le faible apport constitué par la fertilisation minérale sur la culture précédente de haricots (15 kgN/ha) et les 10 kgN/ha restitués par la culture dérobée aboutissent à un besoin total en azote de 37 kgN/ha.

Enfin, les parcelles d'avoine, de seigle, de luzerne et de haricot n'ont pas besoin d'azote. Au contraire, elles ont plus d'azote disponible que ce dont elles ont besoin pour atteindre la production demandée puisque leur besoin est négatif. Les raisons de cette situation sont différentes selon les cultures :

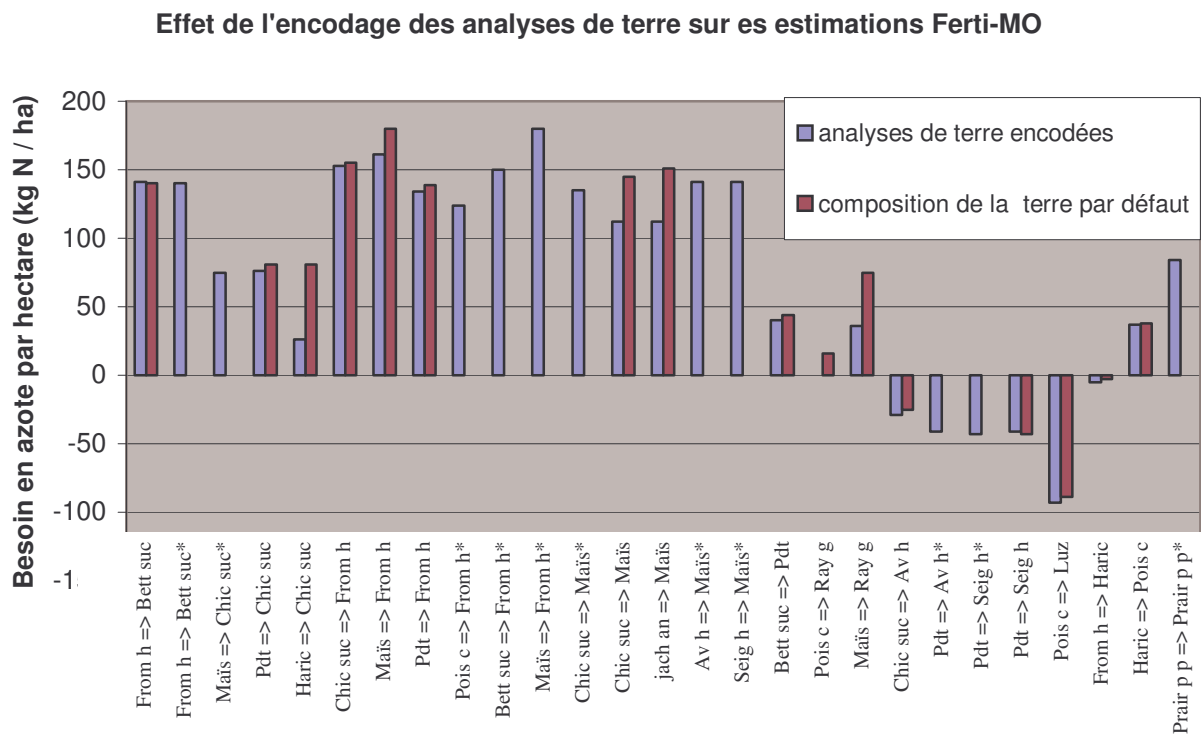
Les cultures d'avoine et de seigle sont principalement destinées à la production de semences pour les cultures dérobées et les rendements espérés par l'exploitant sont peu contraignants (besoin de base de 135 kgN/ha pour le seigle moins 125 kgN/ha de correction "rendement" et besoin de base de 120 kgN/ha pour l'avoine moins 108 kgN/ha de correction "rendement").

Les cultures de luzerne et de pois de conserverie sont fixatrices d'azote et sont donc moins exigeantes en azote (besoin de base de 0 pour la luzerne et 40 pour les pois de conserverie). La différence est que le rendement espéré est moindre pour la luzerne (culture fourragère) que pour les pois de conserverie (culture commerciale).

Effet de l'encodage des analyses de terre sur les estimations Ferti-MO

Pour se rendre compte de l'influence de l'encodage des analyses de terre sur les résultats du plan de fumure, nous avons comparé les besoins en azote calculés par Ferti-MO à partir des mêmes paramètres excepté l'encodage ou non des analyses de terre.

Graphique 3 - Effet de l'encodage des analyses de terre.



* analyse de terre non disponible

Dans les cas où les besoins sont très légèrement supérieurs (2 cas sur 16 avec 1 et 2 kgN/ha de différence).

défaut (14 cas sur 16)

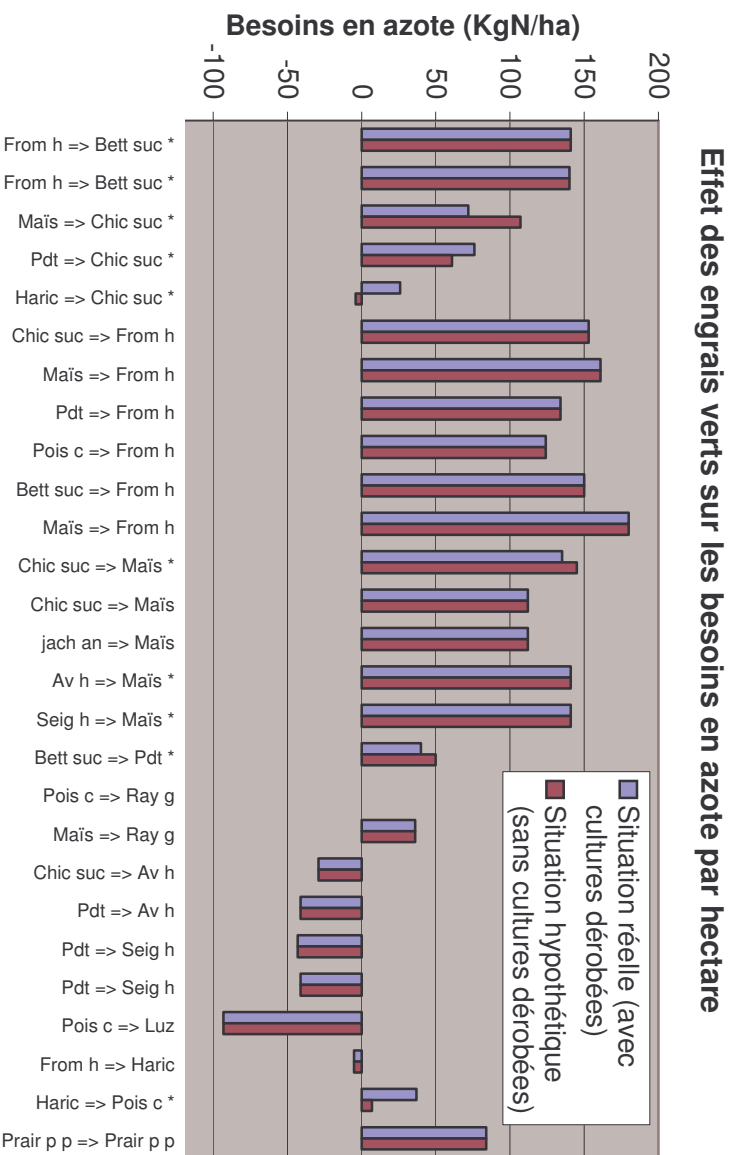
Les plus grandes différences s'observent pour les parcelles d'assolement " Haricot " → "Chicorée à sucre" et " Maïs ensilage " → "Ray grass" où les besoins en azote sont respectivement divisés par 2 et par 3 lorsque les analyses de terre sont prises en compte !

Les analyses de ces parcelles ont la particularité de présenter des teneurs en humus "fortes". Elle vaut 3,36% pour la première et 4,26% pour la seconde.

Effet des engrais verts sur les besoins en azote des parcelles de l'exploitation 1.

Afin d'évaluer la manière avec laquelle Ferti-MO prend en compte l'effet des engrais verts, un second plan de fumure hypothétique a été réalisé à partir des mêmes données excepté les cultures dérobées. Le graphique suivant compare les besoins en azote par hectare estimés par Ferti-MO dans la situation réelle avec une situation hypothétique où aucune culture dérobée ne serait pratiquée.

Graphique 4 - Effet des engrais verts sur les besoins en azote par hectare



Effet des engrais verts sur les besoins en azote par hectare

Les cultures de froment d'hiver 2003 n'ont pas été précédées par une culture dérobée pour des raisons de calendrier.

Les cultures de betteraves sucrières ont été précédées par une culture dérobée mais les besoins restent inchangés car Ferti-MO considère que les apports de la culture précédente (seigle d'hiver dans la culture dérobée et froment d'hiver dans la culture précédente) sont identiques (+10 kgN/ha).

Enfin, les cultures dérobées apparaissent bénéfiques pour les successions "maïs ensilage" → "chicorée à sucre"; "chicorée à sucre" → "maïs ensilage"; "betterave sucrière → maïs ensilage" et "betterave sucrière" → "pomme de terre".

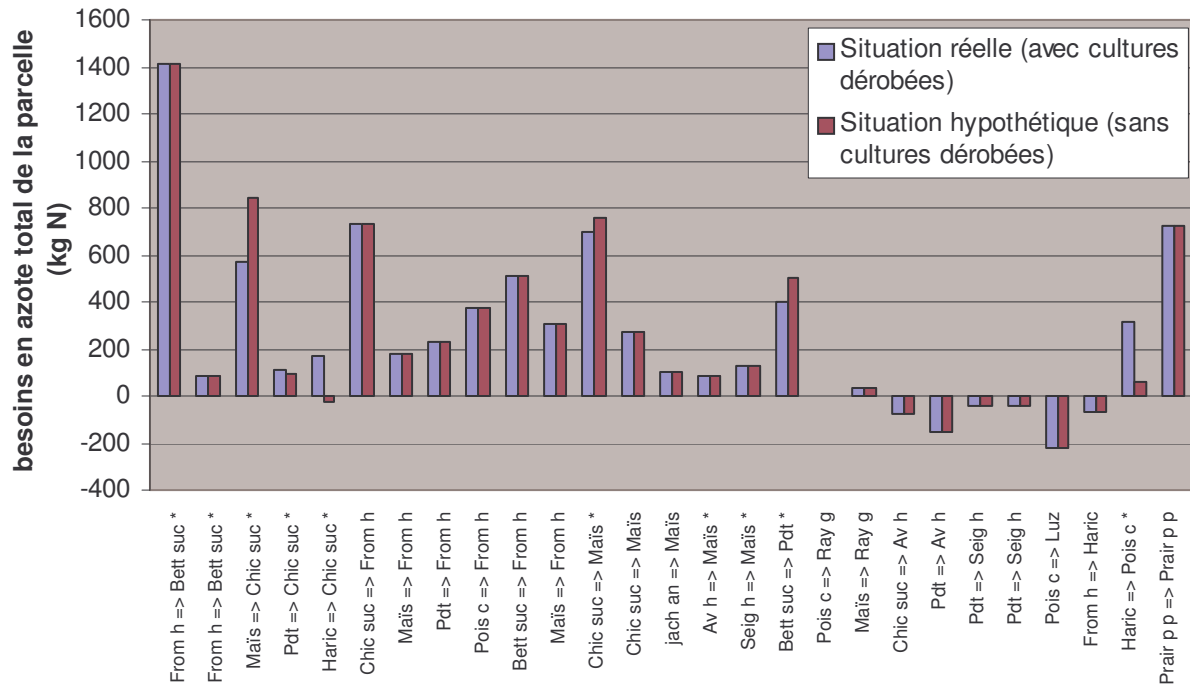
Par contre, elles ont un effet considéré comme négatif par Ferti-MO dans les successions "pomme de terre" → "chicorée à sucre"; "pois de conserverie" → "chicorée à sucre" et "haricot" → "pois de conserverie"; c'est à dire à chaque fois que la culture précédente avait un effet particulièrement positif pour la culture suivante (+40 kgN/ha de la part des pois de conserverie et +25 kgN/ha de la part de la pomme de terre).

D'après l'analyse Ferti-MO, les cultures dérobées semblent avoir un effet "tampon" sur les apports en azote issus de l'année précédente. En effet, lorsque l'assolement précédent laisse peu d'azote disponible pour la culture suivante (ex. correction "Préc" pour le maïs de -25 kgN/ha), la pratique d'une culture dérobée telle que pratiquée dans l'exploitation 1 (seigle ou d'avoine d'hiver) augmente significativement ce poste (correction "Préc" de +10 kgN/ha). Par contre, dans les cas où l'assolement précédent a un effet positif sur les quantités d'azote utilisables par la culture suivante (ex. correction "Préc" pour les légumineuses de +40 kgN/ha), la culture dérobée amenuise cette valeur (correction "Préc" de +10 kgN/ha).

Les résultats de Ferti-MO pour le plan de fumure seront encore plus précis dans ses prochains développements (réf. Ferti Wal) car il est prévu que le programme tienne compte de l'effet cumulé de plusieurs cultures précédentes. En effet, dans sa version actuelle, seule la culture précédente est prise en compte et l'effet d'une culture de légumineuses sur la culture suivante se trouve "effacée" par toute culture dérobée implantée entre temps (Kraft 2003). Cette correction est loin d'être négligeable quand on sait par exemple qu'une culture de légumineuse laisse de l'azote disponible sur plus de trois ans dans une proportion 4:3:2 (Watson et al. 1997).

Graphique 5 – Effet des engrais verts sur le besoin total en azote des parcelles de l'exploitation 1.

Effet des engrais verts sur le besoin total en azote des parcelles de l'exploitation 1



* Pratique d'une culture dérobée

Dans la version actuelle de Ferti-MO, le besoin en azote calculé pour toute l'exploitation est pratiquement égal avec ou sans cultures dérobées (7577 kgN avec cultures dérobées et 7530 kgN sans cultures dérobées). Par contre, lorsque la future version de Ferti-MO prendra en compte l'effet de plusieurs cultures précédentes, les cultures dérobées n'annihileront plus l'apport en azote des légumineuses et l'intérêt des engrais verts sera mieux perçu. En effet, le besoin en azote de toute l'exploitation tomberait à 7102 kgN avec la pratique de cultures dérobées.

Apports proposés par le logiciel

Comme le montre le graphique suivant, les épandages d'engrais de ferme couvrent 20% des besoins totaux des cultures. Le plan de fumure proposé par Ferti-MO conseille les épandages suivants :

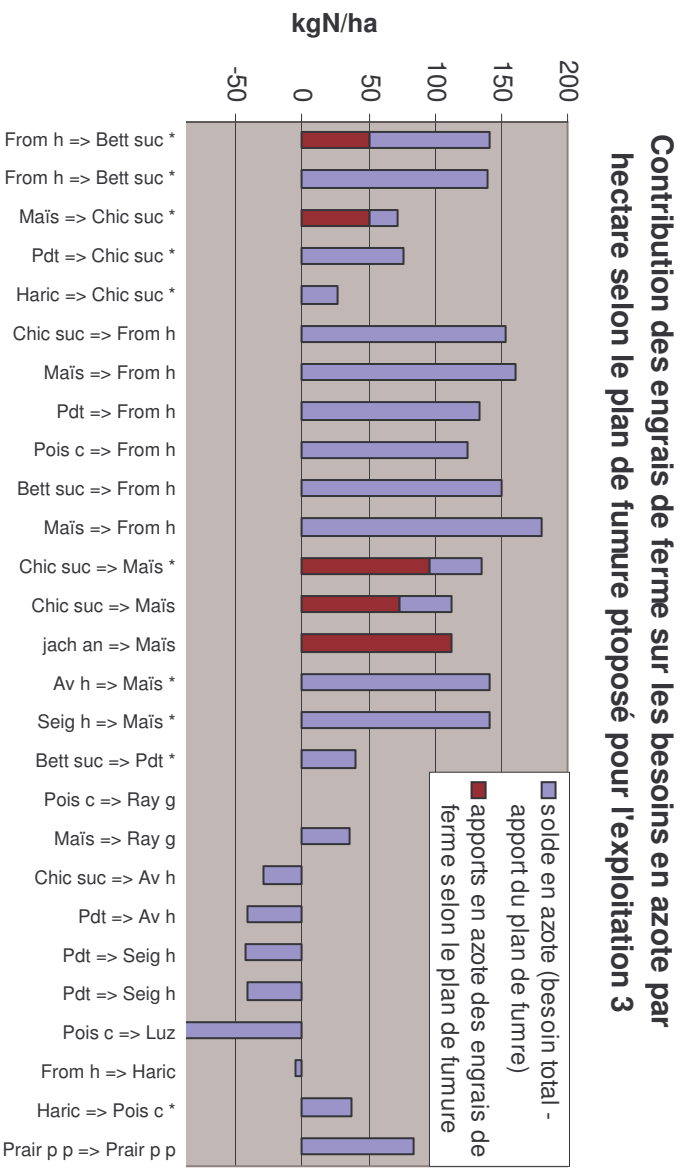
- 229 tonnes de compost (soit 23 T/ha) sur la première culture de betteraves sucrières entre septembre et novembre.
- 181 tonnes de compost (23 T/ha) sur la parcelle de chicorées à sucre ("maïs ensilage → chicorées à sucre").
- Un total de 320 tonnes de lisier sur 3 parcelles de maïs ensilage :
 - "chicorée à sucre" → "culture dérobée" → "maïs ensilage" (43 T/ha)
 - "chicorée à sucre" → "maïs ensilage" (33 T/ha)
 - "jachère" → "maïs ensilage" (50 T/ha)

La période d'épandage conseillée est entre mars et avril.

Ce plan de fumure est à priori étonnant car il prévoit un épandage de lisier sur les cultures de maïs alors qu'il a été démontré par ailleurs qu'il vaut mieux épandre du compost sur ces cultures (Benoît 2000). Les apports proposés par le logiciel tentent de maximiser à la fois l'efficacité d'utilisation des nutriments par les cultures (choix de tel engrais pour telle culture; période de développement des plantes, etc.) et de minimiser les coûts d'épandage (moins de parcelles, minimum de dose etc.)

Par comparaison, l'agriculteur de l'exploitation 1 avait épandu, en 2002, 176 tonnes de compost sur les cultures de maïs ensilage, 223 sur les chicorées à sucre, 265 tonnes de compost et 199 tonnes de lisier sur les betteraves sucrières.

Graphique 6 – Contribution des engrais de ferme sur les besoins en azote par hectare selon le plan de fumure proposé pour l'exploitation 1.

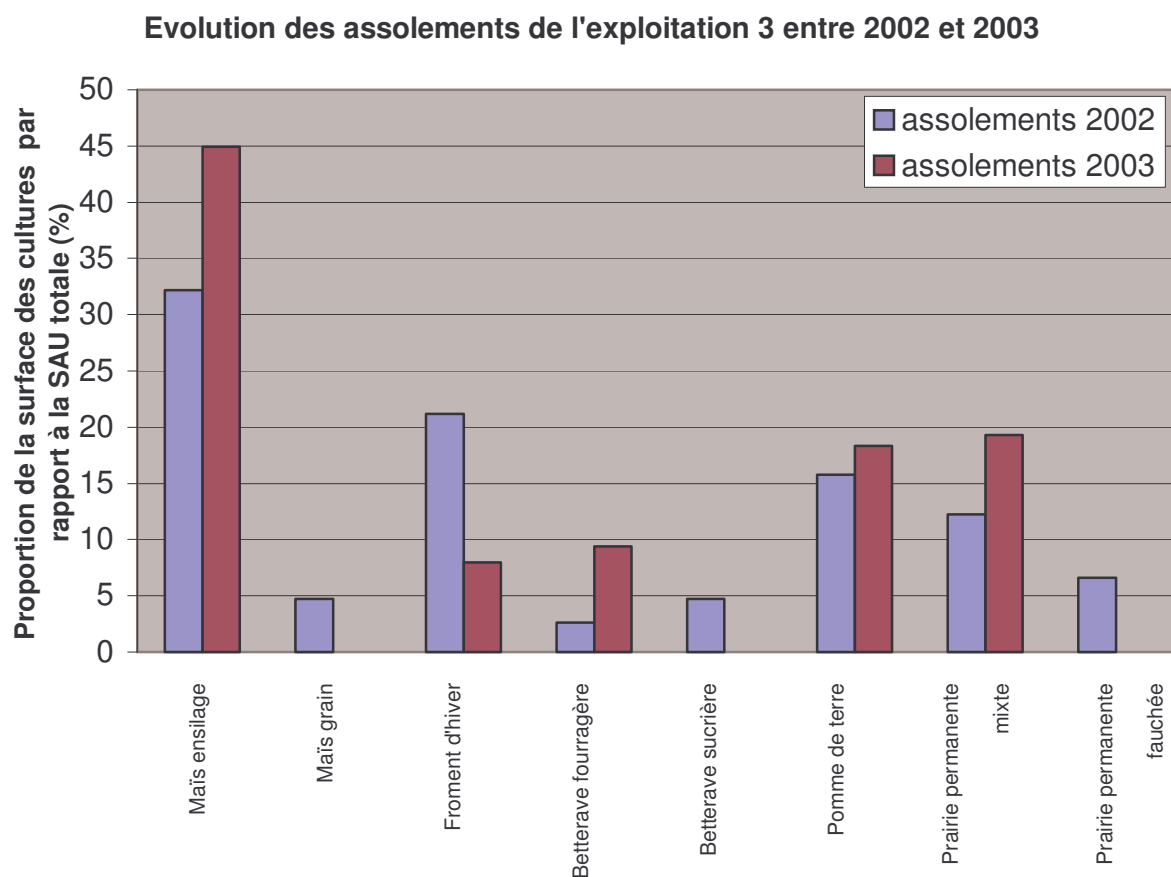


* Pratique d'une culture dérobée

Plan de fumure de l'exploitation 3

Le programme Ferti-MO se base sur les données encodées en 2002 afin de proposer un plan de fumure pour 2003

Graphique 7 – Evolution des cultures de l'exploitation 3 entre 2002 et 2003.

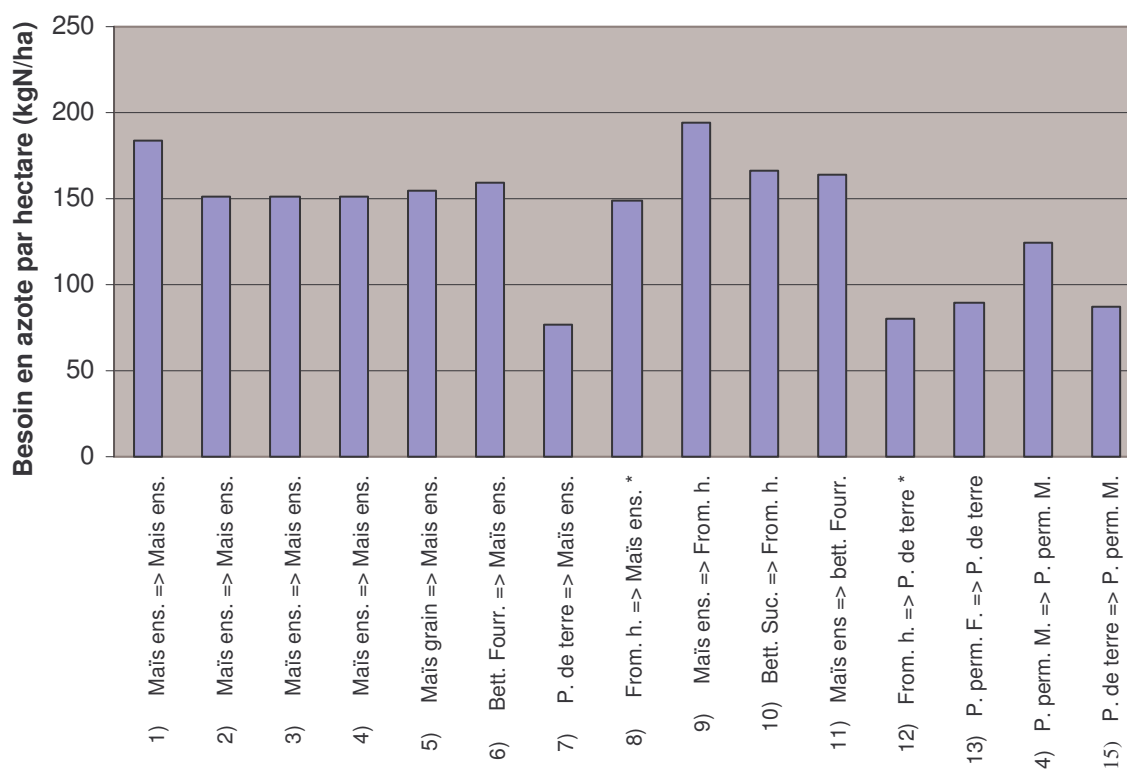


L'assolement de 2003 est moins diversifié. Les cultures de maïs en grain et de betteraves sucrières ainsi que la prairie de fauche ont disparu au profit d'une plus grande surface de maïs ensilage, de betterave fourragère, de pomme de terre et de prairie mixte.

Les besoins estimés par Ferti-MO qui sont donnés dans le graphique suivant intègrent les analyses de terre disponibles ainsi que les cultures dérobées.

Graphique 8 – Besoins en azote par hectare des parcelles de l'exploration 3.

Besoins en azote par hectare des parcelles de l'exploitation 3



* Pratique d'une culture dérobée

Selon Ferti-MO, les cultures dérobées pratiquées sur les parcelles 8 et 12, après les cultures de froment d'hiver, n'ont pas modifié les besoins en azote pour les cultures de l'année suivante.

Les besoins estimés ont une moyenne de 139 kgN/ha et varient entre +77 (kgN/ha pour la parcelle 7 et +194 kgN/ha pour la parcelle 9. Le bilan de la ferme 1 montrait des variations beaucoup plus importantes (de -93 à 182 kgN/ha) autour d'une moyenne à l'hectare nettement plus faible (72 kgN/ha).

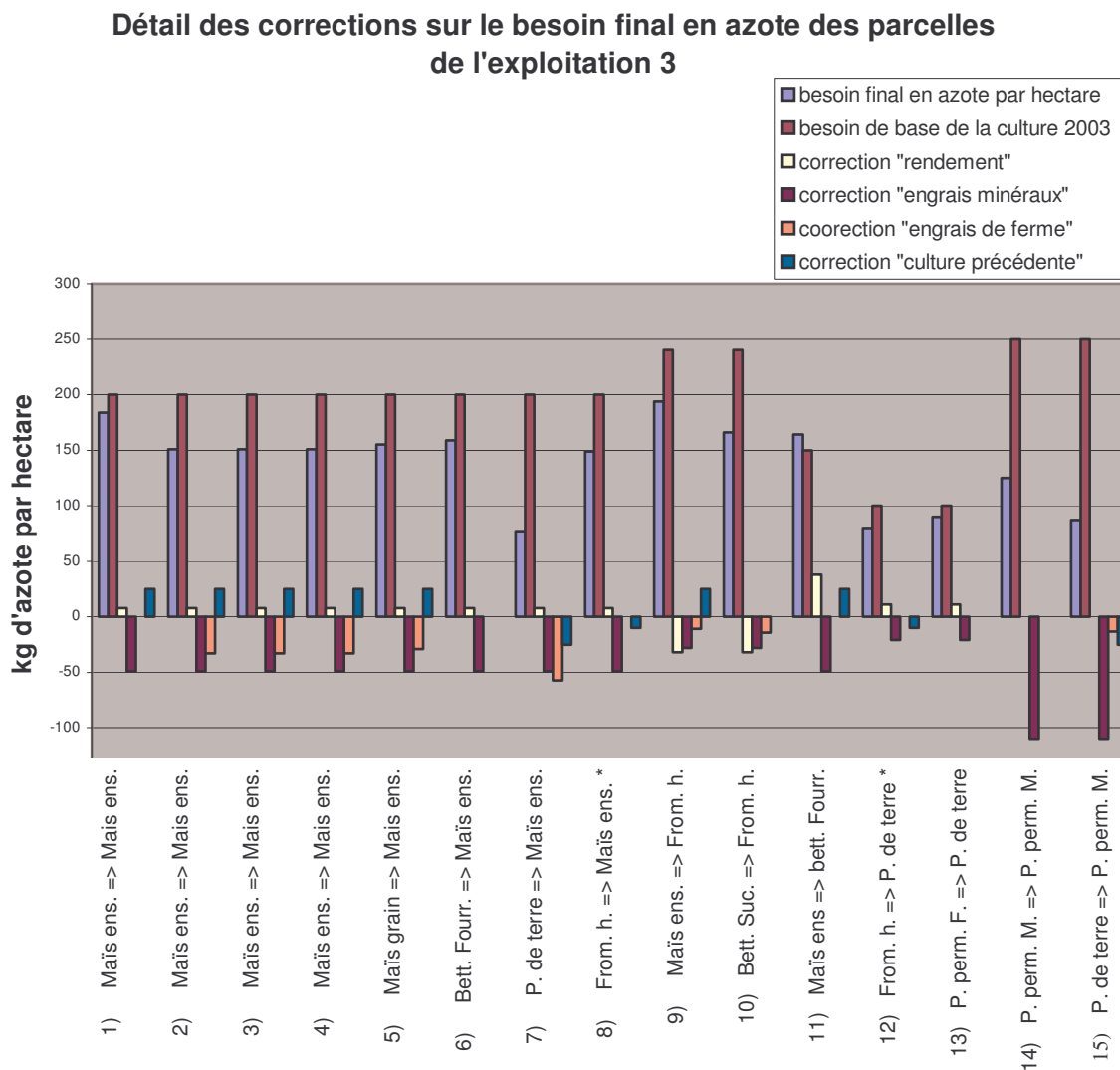
Les parcelles de maïs ensilage montrent toutes un besoin en azote par hectare autour de 150 kgN/ha excepté la 1^{ère} (180 kgN/ha) qui n'a pas reçu d'engrais organique l'année précédente et la 7^{ème} (75 kgN/ha) qui a en a reçu davantage et qui a la particularité de faire suite à une culture de pomme de terre apportant une correction positive (c'est-à-dire comblant en partie les besoins en azote).

Les besoins légèrement plus élevés des parcelles de froment d'hiver et de betterave fourragère résultent d'un faible apport d'engrais de ferme l'année précédente associé à une plus faible contribution d'azote minéral.

Les cultures de pomme de terre ont un moins grand besoin d'azote par hectare ; en grande partie parce que ces cultures présentent un besoin de base inférieur.

D'autre part, les besoins en azote des prairies mixtes apparaissent proportionnellement plus faibles (entre 85 et 125 kgN/ha) car le logiciel prend en compte les restitutions au pâturage prévues pour 2003 qui corrigent fortement les besoins de bases élevés.

Graphique 9 – Détail des corrections sur le besoin final en azote des parcelles de l'exploitation 3.



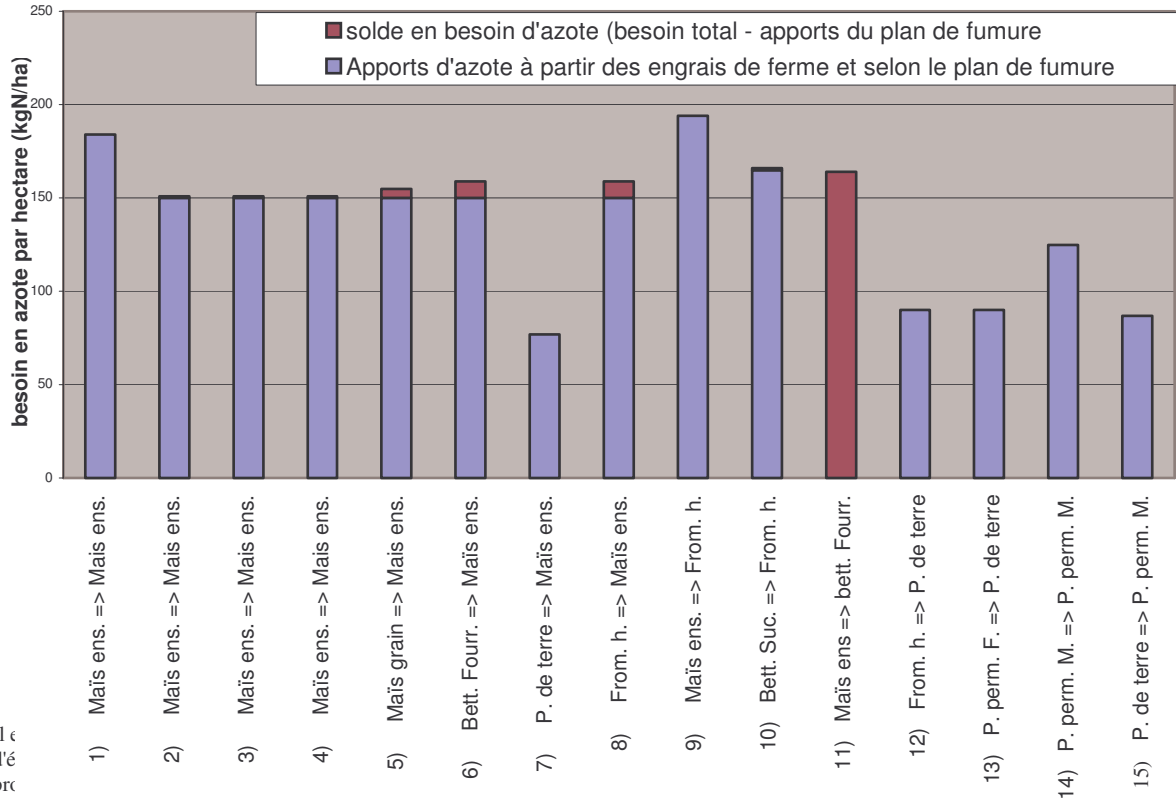
* Pratique d'une culture dérobée

Apports proposés par Ferti-MO pour les parcelles de l'exploitation 3 en 2003.

Dans la ferme 3, les engrais de ferme permettent de subvenir à raison de 92% des besoins en azote des cultures. Seule la parcelle 11, dont la succession est "Maïs ensilage " → "betterave fourragère", n'est pas concernée par l'épandage d'engrais de ferme dans le plan de fumure proposé par Ferti-MO.

Graphique 10 – Contribution des engrais de ferme sur les besoins en azote par hectare selon le plan de fumure proposé pour l'exploitation 3.

Contribution des engrais de ferme sur les besoins en azote par hectare selon le plan de fumure proposé pour l'exploitation 3



Il s'agit d'un document de travail. Les données sont susceptibles d'être modifiées.

Intérêt pour l'agriculteur du plan de fumure Ferti MO

- **Outil pratique de gestion**

Le plan de fumure Ferti MO est un outil pratique à la disposition de l'agriculteur. Il propose de manière claire un plan pour l'épandage des engrais de ferme (tableau "Epanrages d'effluents") en adéquation avec les nombreuses conditions spécifiques à la ferme et aux différentes périodes de l'année.

- Caractéristiques parcellaires et culturales (besoins en azote, analyses du sol, dimensions parcellaires, assolements précédents et prévus, restitutions du pâturage, réponse des différentes cultures aux différents types d'engrais, période de l'année où les besoins sont les plus importants, réglementation, etc.).

- Caractéristiques de production et de stockage des différents types d'engrais de ferme (quantités d'effluents produits au long de l'année, dilutions éventuelles, analyses des effluents d'élevage, capacités de stockage, réglementation, etc.).

Les contraintes techniques de rentabilité (quantité minimum épandue par hectare) et agronomiques (quantité maximum épandue par hectare) sont aussi prises en compte.

Une estimation des besoins complémentaires en azote minéral par hectare et pour la parcelle (colonnes "soldes en U.N. du tableau "besoins des cultures") est déduite de la fertilisation organique proposée dans le tableau "épandage d'effluents" et des besoins totaux de chaque parcelle.

- **Instrument de sensibilisation et de valorisation des engrais de ferme**

Les détails des besoins en azote des parcelles permettent à l'agriculteur de constater l'importance de la fertilisation organique précédente et à venir pour satisfaire les besoins des cultures prévues.

Les déjections animales ne sont plus perçues comme un "effluent d'élevage" mais bien comme un "engrais de ferme" contenant les éléments N, P, K, Mg, Ca et ayant une valeur financière.

Les engrais minéraux sont quant à eux perçus comme un complément des ressources internes à la ferme et leur apport raisonné à partir de la formule suivante réduit les dépenses de l'agriculteur en même temps que les pertes dans l'environnement (cf. ci-dessous).

$\text{Engrais minéral} = \text{besoins de la culture} - \text{fournitures par le sol} - \text{apport organique}$

De plus, l'agriculteur peut découvrir l'effet des successions de cultures et de la pratique de cultures dérobées afin d'adapter son système de rotations.

Ferti-MO est conçu comme un outil pour l'agriculteur et non comme un instrument de contraintes.

Intérêt pour l'environnement

- **La fertilisation en azote minéral est considérée dans Ferti MO comme un complément à la fertilisation organique.**

L'agriculteur peut alors gérer la fertilisation minérale en fonction de la fertilisation organique disponible (et donc en fonction de la charge animale et des importations et exportations d'effluents d'élevage) et non pas de manière indépendante. Cette manière de procéder permet d'éviter les aberrations mises en évidence en introduction qui montrent une absence de corrélation entre la fertilisation minérale par hectare et la charge calculée (Stilmant et al 2000, Frankinet et al 2002). Les conséquences de cette fertilisation raisonnée sont multiples : meilleure efficacité de l'utilisation de l'azote, diminution des déperditions d'azote hors du système "ferme", recyclage des engrais de ferme, etc.

Conclusion de l'analyse Ferti-MO

Comme nous l'avons vu, les prochains développements de Ferti-MO rendront le programme plus pratique et permettront de prendre en compte l'effet cumulé de plusieurs cultures pour améliorer la précision du plan de fumure, notamment en évaluant de manière plus adéquate l'effet des cultures dérobées.

Il serait également intéressant de prendre en compte la composition de l'alimentation selon l'âge du bétail pour améliorer la précision des quantités de nutriments estimés dans les engrais de ferme et sensibiliser l'agriculteur sur l'influence de l'alimentation sur la qualité des déjections.

Les plans de fumure présentés ici ont été réalisés en été 2003. Cette époque de l'année n'est pas la plus appropriée pour 2 raisons :

Les agriculteurs sont moins disponibles.

L'année de référence (qui doit être finie pour disposer des données complètes) ne peut être que 2002 ou une année avant et le plan de fumure alors réalisé concerne 2003; ce qui n'est pas plus très utile puisque l'année 2003 est déjà en cours d'exploitation.

Résultats de l'analyse EcoFerme

Tous les résultats présentés ci-dessous sont issus de l'analyse EcoFerme réalisée à partir des données confiées par les agriculteurs. L'enquêteur n'a recouru à aucune mesure directe.

Caractéristiques structurelles des exploitations

Tableau 11 - Paramètres économiques.

Exploitation	1	2	3
Code OTE ⁸	813	412	711
Signification UE ⁹	"Grandes cultures et herbivores non laitiers"	"Herbivores, bovins laitiers, moyennement spécialisé"	"Polyélevage, orientation bovins laitiers"
Unités	(euros)	(euros)	(euros)
MBS ¹⁰ absolu	216 717	131 628	88 643
MBS / ha SAU	2 037	1 858	4 171
MBS / UGB	3 576	1 063	2 897
MBS / 1000 euros VSP	726	907	308
VSP ¹¹ absolu	298 304	145 047	288 238
VSP / ha SAU	2 804	2 047	13 564
VSP / UGB	4 923	1 172	9 420
VSP / 1000 euros MSB	1 376	1 102	3 252

Le code OTE donné par EcoFerme s'est avéré incorrect pour la ferme 1 car le code 813 signifie "Grandes cultures et herbivores non laitiers" et ne correspond pas aux données encodées qui mentionnent un troupeau de vaches laitières.

Le code OTE initialement donné pour l'exploitation 2 était 444 et signifie "Herbivores divers". Les corrections apportées au logiciel par J. Lambin de la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux ont abouti au code 412 qui signifie "Bovins laitiers, moyennement spécialisé". Ce code est en adéquation avec les caractéristiques de l'exploitation.

⁸ Orientation technico-économique.

⁹ Décision de la commission de l'UE, 2003.

¹⁰ Marge brute standard.

⁴ Valeur standardisée de la production

☞ Les valeurs qui sont apparues incohérentes sont présentées dans un fond gris

Le code OTE de l'exploitation 3 (711) signifie "Polyélevage, orientation bovins laitiers" et est compatible avec les spéculations de la ferme : porcins et vaches laitières.

Ces difficultés liées à la détermination des codes OTE sont particulièrement gênantes dans l'analyse EcoFerme car les valeurs données ultérieurement pour les flux et les indicateurs environnementaux sont censés être comparés à la valeur moyenne des exploitations de même OTE qui ont déjà été évaluées par EcoFerme. Afin d'éviter des comparaisons trompeuses, nous avons décidé ne pas mettre à profit cette option.

La **marge brute standard** (MBS) équivaut à la valeur brute des productions augmentée des primes et diminuée des coûts de production (Debouche & Lambin 2003). La MBS de l'exploitation est la somme des MBS de chaque spéculation. Elle vaut, pour les trois fermes étudiées, entre 89 000 euros (exploitation 3) et 217 000 euros (exploitation 1).

La **valeur standard de la production** (VSP) comptabilise les quantités de chaque produit vendu multiplié par leur valeur financière standardisée (Debouche & Lambin 2003). Les fermes étudiées montrent des VSP allant de 145 000 (exploitation 2) euros à 298 000 euros (exploitation 1).

Le tableau suivant concerne l'utilisation des superficies agricoles des trois exploitations. L'exploitation 1 est la plus grande en superficie; celle-ci est plus de 5 fois plus grande que celle de la ferme 3 et est en grande partie utilisée pour des cultures commerciales (80%). La surface agricole utile (SAU) de la ferme 2 est davantage dédiée aux cultures fourragères (46%) que les deux autres exploitations (respectivement 20 et 27% pour les exploitations 1 et 3). La ferme 3 se distingue des deux autres exploitations par sa faible SAU.

Tableau 12 – Superficies.

Exploitation	1	2	3
Unités	(ha)	(ha)	(ha)
Superficie agricole utile (SAU) arrondie¹²	110	70	20
Superficie fourragère (SF) arrondie	20	30	6
SF/SAU	0,2	0,46	0,27

Le tableau suivant concerne le cheptel des trois exploitations. L'exploitation 2 possède deux fois plus d'**unités gros bétail** (124 UGB) que l'exploitation 1 (60 UGB) et, compte tenu des différences de

¹² Les valeurs de SAU ont été arrondies par souci d'anonymat.

SAU, le rapport UGB/SAU (charge en bétail) montre des différences encore plus importantes (1,7 UGB/ha pour la ferme 2 et 0,6 UGB/ha pour la ferme 1).

Le nombre d'UGB est incorrect pour l'exploitation 3 car le calcul réalisé par EcoFerme ne prend pas en compte les porcins qui représentent pourtant une grande partie des spéculations.

Le **nombre d'unité de charge polluante** (UCP) varie entre 552 pour l'exploitation 1 et 1030 pour l'exploitation 2. Cette valeur rapportée à l'hectare de SAU est beaucoup plus importante pour la ferme 3 que pour les deux autres fermes.

Tableau 13 – Animaux.

Exploitation	1	2	3
Unité gros bétail (UGB)	60	124	30,6
UGB / ha SAU	0,6	1,7	1,4
Unité de charge polluante (UCP)	552	1030	582
UCP / ha SAU	5,2	14	27,4

En conclusion, les caractéristiques structurelles des 3 exploitations apportent déjà de nombreuses informations sur les orientations relatives de ces fermes mixtes :

- La ferme 1 est davantage axée vers les cultures commerciales que les deux autres.
- La ferme 2 est davantage axée vers la production laitière étant donné sa forte charge animale et sa relativement forte proportion de SAU consacrée au fourrage.
- La ferme 3 se distingue par son polyélevage (porcins et bovins) en grande partie hors sol.

Il est intéressant d'évaluer les différents impacts environnementaux de ces différentes options agricoles.

Indicateurs

Le tableau suivant présente les soldes apparents en azote, phosphore et potassium des exploitations; c'est à dire le bilan de leurs échanges commerciaux avec des tiers. Les valeurs entre parenthèses données dans les résultats EcoFerme sont les coefficients de variation (exprimées en%) qui indiquent le degré de précision des nombres qu'ils accompagnent. Les valeurs supérieures à " 999,5%" sont remplacées par "???" (Debouche & Lambin 2003).

- Indicateurs des échanges avec les tiers

Tableau 14 - Soldes apparents.

Principaux échanges 'expl. <-> tiers' (imp. - exp.)				
Exploitation 1	Solde à l'hectare (kg/ha)	Import (kg/ha)	Export (kg/ha)	Solde à l'exploitation (kg)
azote	19,7 (121,)	116,2 (0,2)	96,5 (24,8)	2 096 (121,0)
phosphore	- 9,0 (54,8)	13,6 (0,3)	22,6 (21,7)	- 957,42 (54,8)
potassium	- 69,8 (40,2)	6,9 (9,3)	76,6 (36,6)	- 7 425 (40,2)

Principaux échanges 'expl. <-> tiers' (imp. - exp.)				
Exploitation 2	Solde à l'hectare (kg/ha)	Import (kg/ha)	Export (kg/ha)	Solde à l'exploitation (kg)
azote	74,2 (11,1)	132,0 (0,1)	57,8 (14,2)	5 257 (11,1)
phosphore	11,0 (17,7)	24,8 (0,3)	13,8 (14,1)	779 (17,7)
potassium	59,7 (4,9)	75,0 (0,1)	15,3 (18,9)	4 230 (4,9)

Principaux échanges 'expl. <-> tiers' (imp. - exp.)				
Exploitation 3	Solde à l'hectare (kg/ha)	Import (kg/ha)	Export (kg/ha)	Solde à l'exploitation (kg)
azote	348,0 (9,4)	677,8 (0,1)	329,8 (10,0)	7 395 (9,4)
phosphore	4,0 (308,)	107,2 (0,1)	103,2 (11,9)	85 (308,)
potassium	- 27,2 (176,)	107,5 (8,4)	134,8 (34,9)	- 578 (176,)

Le solde des échanges en azote calculé par hectares entre l'exploitation 1 et les tiers est négligeable (le coefficient de variation supérieur à 50% indique que le bilan n'est pas significativement supérieur à 0).

Par contre, il vaut respectivement 74 kgN/ha et 348 kgN/ha pour les exploitations 2 et 3. Le bilan calculé pour l'ensemble de l'exploitation vaut respectivement 5 242 kgN pour la ferme 2 et 7 395 kgN pour la 3.

Ce bilan apparent positif en azote ne représente pas nécessairement des pertes dans l'environnement car l'azote peut s'accumuler dans un stock interne à l'exploitation comme par exemple sous forme d'humus dans le sol cultivé ou incorporé dans le compartiment "animaux" (Debouche & Lambin 2003).

Ces résultats illustrent la capacité des exploitations à être "autonomes" et à fonctionner de manière fermée du point de vue du transfert cyclique de l'azote. En effet, les fermes 1 et 2 achètent moins d'azote que l'exploitation 3 qui fonctionne donc moins avec ses propres ressources. Le cas de l'exploitation 1 est singulier car son solde négligeable signifie qu'elle rentabilise bien l'azote acheté.

Il existe des cas extrêmes où le cycle de transfert de nutriments est fermé (achats de nutriments nuls et solde apparent négatif) mais ces systèmes sont inévitablement moins rentables (Baars, 1998).

L'important solde d'azote apparent par hectare calculé pour l'exploitation 3 est à mettre en rapport avec le type de spéculacation qui est en grande partie hors sol. Ce système plus intensif achète davantage d'azote pour en produire davantage. Par conséquent le mode de transfert des nutriments est moins cyclique, plus ouvert que les 2 autres exploitations.

D'après le détail des flux, les **principales entrées d'azote venant des tiers** correspondent aux engrais minéraux pour les exploitations 1 et 2 (flux "tiers" vers "sol cultivé") et aux aliments concentrés pour l'exploitation 3 (flux "tiers" vers "animaux"). Le résultat concernant l'exploitation 3 est cohérent avec ceux de Frankinet et al. (2002) à propos des fermes de Comines où ce sont les importations sous forme d'aliments concentrés qui constituent le principal facteur explicatif du solde apparent en azote des exploitations étudiées.

Les **principales sorties d'azote de l'exploitation 1 vers les tiers**, correspondent aux cultures commercialisées (80%). Celles de l'exploitation 2 se répartissent également entre la production végétale (51%) et la production animale (sous forme de lait et de beurre (49%). En ce qui concerne l'exploitation 3, l'exportation de cheptel est le poste principal pour les sorties d'azote vers les tiers.

Selon EcoFerme, le **solde apparent en phosphore** calculé par hectare est en équilibre pour les exploitations 1 et 3. Il est positif pour l'exploitation 2.

Le **solde apparent en potassium** calculé par hectare est légèrement négatif pour l'exploitation 1, légèrement positif pour l'exploitation 2 et en équilibre pour l'exploitation 3.

L'agriculteur 1 n'achète aucun fertilisant minéral à base de phosphore ou de potassium. Les seuls achats en P et en K sont sous forme d'aliments concentrés pour animaux. Les déjections animales de sa ferme sont suffisamment riches en ces éléments pour conserver un sol de bonne qualité.

- Indicateurs des échanges avec l'environnement

Le tableau suivant présente les indicateurs concernant les échanges entre les exploitations étudiées et l'environnement.

Tableau 15 - Echanges avec l'environnement.

Principaux échanges 'expl. <-> envir. ' (exp. - imp.)				
Exploitation 1	Solde à l'hectare (kg/ha)	Import (kg/ha)	Export (kg/ha)	Solde à l'exploitation (kg)
gaz carbonique avec l'atmosphère	- 200 (???)	3619000 (13,9)	3619000 (13,9)	- 21 276 (???)
méthane avec l'atmosphère	123,7 (0,0)	123,7 (0,0)	---	13 159 (0,0)
ammoniac avec l'atmosphère	76,2 (13,7)	76,2 (13,7)	---	8 106 (13,7)

Principaux échanges 'expl. <-> envir. ' (exp. - imp.)				
Exploitation 2	Solde à l'hectare (kg/ha)	Import (kg/ha)	Export (kg/ha)	Solde à l'exploitation (kg)
gaz carbonique avec l'atmosphère	- 6500 (???)	9867000 (11,5)	9873000 (11,5)	- 460525 (???)
méthane avec l'atmosphère	408,3 (0,0)	408,3 (0,0)		28 928 (0,0)
ammoniac avec l'atmosphère	127,9 (17,3)	127,9 (17,3)		9 062 (17,3)

Principaux échanges 'expl. <-> envir. ' (exp. - imp.)				
Exploitation 3	Solde à l'hectare (kg/ha)	Import (kg/ha)	Export (kg/ha)	Solde à l'exploitation (kg)
gaz carbonique avec l'atmosphère	40100 (???)	6268000 (13,5)	6228000 (13,6)	852 125 (???)
méthane avec l'atmosphère	183,5 (0,0)	183,5 (0,0)		3899 (0,0)
ammoniac avec l'atmosphère	1 765,3 (21,1)	1 765,3 (21,1)		37 512 (21,1)

Les soldes calculés par EcoFerme pour les **échanges en CO₂** entre l'exploitation et l'environnement sont négligeables par rapport aux flux d'entrée et de sortie. Bien que le solde des trois exploitations ne soit pas significativement différent de 0 (coefficient de variation supérieur à 100), La tendance des 2 premières exploitations est à la consommation de CO₂ (bilan négatif) tandis qu'elle est à la production de CO₂ pour la troisième exploitation (bilan positif). Ces différences s'expliquent par la faible proportion du compartiment "cultures" et la forte proportion du compartiment "animaux" dans les activités de l'exploitation 3 par rapport aux deux autres. En effet, la production animale (production secondaire) émet du CO₂ tandis que la production de matière végétale (production primaire) a tendance à davantage fixer le CO₂ qu'à le consommer.

Les **dégagements de méthane par hectare vers l'atmosphère** sont plus de trois fois plus importants dans l'exploitation 2 que dans l'exploitation 1. Elle est intermédiaire dans l'exploitation 3. Les mêmes différences s'observent pour les émissions à l'exploitation (respectivement 13 159, 28 928 et 3 899 kg/ha pour les fermes 1, 2 et 3).

Bien que l'exploitation 3 ait la plus grande charge animale, elle ne montre pas les plus grandes émissions de méthane car une grande partie de ses spéculations est composée de porcins qui émettent proportionnellement moins de méthane que les bovins (Peigne, 2003). En effet, la ferme 2 qui montre la plus grande charge en ruminants est aussi celle qui émet le plus de méthane.

Les **dégagements d'ammoniac par hectare vers l'atmosphère** sont beaucoup plus importants dans la ferme 3 que dans les exploitations 1 et 2 (respectivement 23 et 14 fois plus). Le calcul pour l'ensemble de l'exploitation montre des différences moins importantes : les émissions de l'exploitation 3 (37 448,6 kg NH₃) ne sont plus que 4 fois plus importantes que pour l'exploitation 2 (9 062 kg NH₃). La grande charge animale et le mode de stabulation sur grille des bovins et des porcins de la ferme 3 contribuent à ces pertes importantes vers l'atmosphère. En effet, les lisiers émettent davantage d'ammoniac vers l'atmosphère car leurs conditions (faible aération et faible rapport C/N) ne sont pas favorables au processus de nitrification et n'offrent donc pas d'alternative pour la volatilisation (Peigne 2003).

- **Indicateurs de rendements**

Le tableau suivant présente les indicateurs de rendements dans les différents compartiments des exploitations étudiées.

Tableau 16 - Rendements en azote.

Principaux rendements (exp. / imp.)			
Exploitation 1	Taux d'efficience	Import (kg/ha)	Export (kg/ha)
de l'azote des productions animales	0,3 (16,0)	21,8 (4,2)	73,1 (15,8)
de l'azote des productions végétales	0,8 (23,1)	121,9 (21,8)	148,4 (7,5)
de l'azote de l'exploitation	0,8 (22,6)	105,8 (22,6)	125,6 (1,1)

Principaux rendements (exp. / imp.)			
Exploitation 2	Taux d'efficience	Import (kg/ha)	Export (kg/ha)
de l'azote des productions animales	0,3 (29,9)	39,8 (11,9)	128,5 (29,0)
de l'azote des productions végétales	0,6 (27,2)	153,0 (24,8)	238,9 (11,3)
de l'azote de l'exploitation	0,5 (11,5)	76,9 (11,4)	151,0 (2,0)

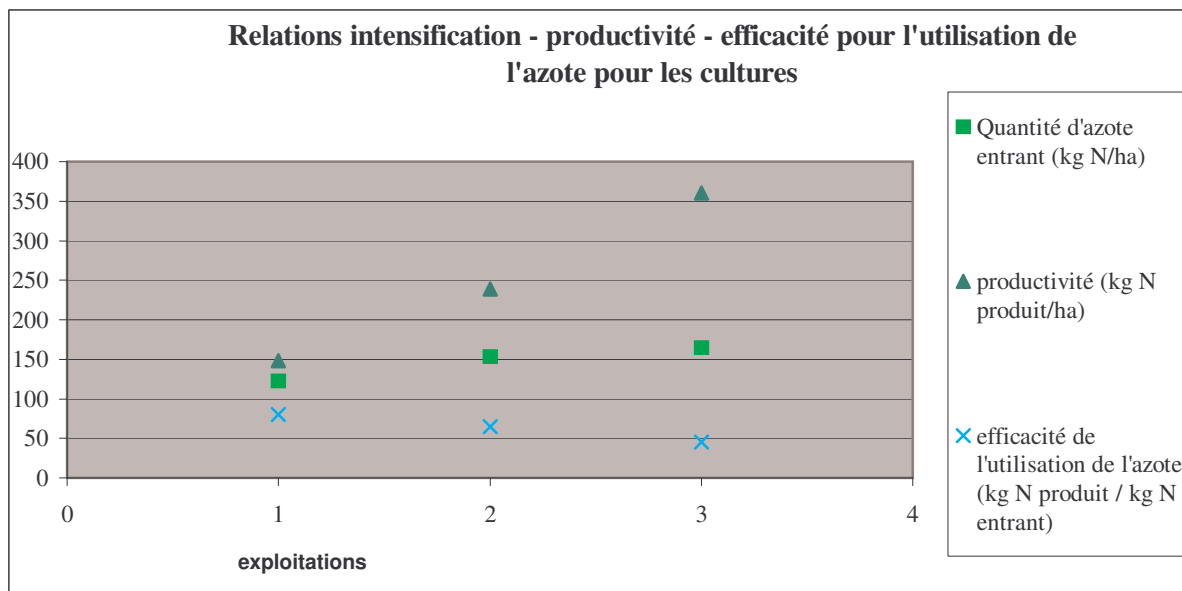
Principaux rendements (exp. / imp.)			
Exploitation 3	Taux d'efficience	Import (kg/ha)	Export (kg/ha)
de l'azote des productions animales	0,3	870,5 (1,5)	1 195,0 (3,0)
de l'azote des productions végétales	0,45 (30,4)	164,2 (29,2)	371,4 (8,2)
de l'azote de l'exploitation	0,35 (3,6)	970,9 (3,6)	1 319,0 (0,8)

L'efficience de l'azote est plus grande dans le système végétal que dans le système animal pour les trois fermes étudiées. Frissel (1978) a montré que les systèmes de terres arables fertilisées sont plus

efficaces pour transformer l'azote entrant en produit que les systèmes animaux; les systèmes mixtes se situant à l'intermédiaire.

Le taux d'efficacité de l'azote est pratiquement égal pour les productions animales des exploitations 1 et 2 (0,3 kgN exporté/kgN entrant). Par contre, l'efficacité d'utilisation de l'azote dans le compartiment "culture" est nettement plus importante dans l'exploitation 1 (0,8) que dans la 2 (0,6) et la 3 (0,45). Ces résultats sont révélateurs du mode d'exploitation des trois fermes étudiées. Le graphique suivant rassemble trois paramètres concernant le mode d'utilisation de l'azote dans les cultures des trois exploitations étudiées : l'ensemble des apports d'azote par hectare; la productivité en azote par hectare et l'efficacité d'utilisation de l'azote qui représente la quantité d'azote produite par hectare (sous forme de produit valorisable) par unité d'azote incorporé dans le système. ,

Graphique 11 – Relations intensification – productivité – efficacité d'utilisation de l'azote pour les cultures.



En effet, l'exploitation 1 limite ses apports en azote pour obtenir une production suffisante et utiliser l'azote au mieux. Les exploitations 2 et 3 sont plus intensives; elles introduisent davantage d'azote, obtiennent de meilleures productions mais l'efficacité d'utilisation de l'azote s'en trouve nettement réduite.

Les rendements du système "animaux" et, par conséquent du compartiment global "exploitation", donnés pour l'exploitation 3 ne sont pas cohérents avec le détail des calculs EcoFerme. En effet, le rapport entre les cases "importations" et "exploitations" vaut plus de 70% et n'équivaut pas au résultat donné dans la case "taux d'efficience" qui est de 30% pour le système animal et 35% pour l'exploitation.

- **Indicateurs concernant les sols cultivés**

Tableau 17 - Indicateurs pour le compartiment "sol cultivé".

Exploitation 1			
Couverture du sol (% annuel)	170 (0,0)	100 (0,0)	60 (0,0)
Azote organique du sol (kg N / ha)	50 (16,5)	50,2 (16,5)	1,0 (0,0)
Pertes vers eaux surface. (kgN/ha)	0	---	---
Pertes vers eaux souter. (kgN/ha)	0	---	---

Exploitation 2			
Couverture du sol (% annuel)	170 (0,0)	100 (0,0)	80 (0,0)
Azote organique du sol (kg N / ha)	106 (14,3)	106 (14,3)	1,0 (0,0)
Pertes vers eaux surface. (kgN/ha)	3 (24,5)	---	---
Pertes vers eaux souter. (kgN/ha)	39 (10,1)	---	---

Exploitation 3			
Couverture du sol (% annuel)	170 (0,0)	100 (0,0)	60 (0,0)
Azote organique du sol (kg N / ha)	116 (12,5)	116 (12,5)	1,0 (0,0)
Pertes vers eaux surface. (kgN/ha)	2 (24,3)	---	---
Pertes vers eaux souter. (kgN/ha)	8 (9,9)	---	---

Les valeurs qui sont données pour le **taux de couverture du sol** ne prennent pas en compte les cultures dérobées ni les intercultures car la version actuelle du logiciel ne permet pas de calculer les résultats lorsque ces données sont encodées; le message d'erreur suivant apparaît : "no current record".

La valeur "170" qui est donnée dans les trois cas étudiés est impossible car elle est hors de l'intervalle "0-100%" annuel (Debouche & Lambin 2003). Par contre, les valeurs données dans la dernière colonne varient entre 60 et 80% et semblent plus cohérentes. S'il s'avérait que ces valeurs sont correctes, elles signifieraient que l'ensemble de la SAU est couverte selon un taux annuel de 60 et 80% en 2002. Le taux plus élevé observé pour l'exploitation 2 résulterait probablement de sa plus grande proportion de prairies permanentes.

Les **pertes d'azote dans les eaux de surface et souterraines** sont négligeables pour l'exploitation 1. Elles valent respectivement 42 et 10 kgN/ha pour les fermes 2 et 3; Celles-ci se retrouvent majoritairement dans les eaux souterraines (respectivement 92 et 80%).

La **variation du stock d'azote organique du sol** calculée par EcoFerme est nettement positive pour les trois exploitations étudiées (entre 50 N/ha pour la ferme 1 et 116 kgN/ha pour la ferme 3). Les analyses de terre montrent effectivement une bonne teneur en humus des sols de ces trois fermes.

Les résultats donnés pour la "variation du stock d'azote organique du sol" sont étroitement liés à ceux donnés pour les "pertes d'azote dans les eaux souterraines et de surface" car ces postes se partagent le solde du bilan "sols cultivés". Dans la ferme 1, les quantités négligeables des pertes d'azote dans les eaux sont associées à une faible variation de stock d'azote organique dans le sol. Ces estimations s'expliquent par la faible valeur des flux d'azote. Par contre, pour les fermes 2 et 3, les grandes variations de stock d'azote dans le sol s'accompagnent de grandes pertes dans les eaux souterraines et de surface. Cette double observation indique que le solde du bilan d'azote au sol excède les capacités de rétention de celui-ci et que les pertes dans les eaux souterraines et de surface sont dès lors inévitables.

Compte tenu de la taille de ces fermes, les pertes d'azote dans les eaux sont particulièrement conséquentes dans la ferme 3 car elles représentent un total de presque 3 000 kgN pour toute l'exploitation alors qu'elles valent seulement 212 kgN pour l'ensemble de l'exploitation 3 qui a une SAU plus petite.

Fertilisation azotée

Les résultats donnés par EcoFerme concernant la fertilisation azotée permettent de comparer les quantités maximales d'azote acceptables (selon le décret wallon relatif à la gestion durable de l'azote en agriculture, MB 29/11/2002) aux quantités d'azote apportées par l'agriculteur (pâturage et fertilisations).

Tableau 18 – Résultats donnés par EcoFerme concernant la fertilisation azotée.

Exploitation 1			
	Quantité maximale acceptable	Quantité appliquée	Détail des quantités appliquées
Fertilisation organique (pour toute l'exploitation)	13 542 (0,0)	6 180 (18,9)	Pâturage : 2 524 (30,5) Epannage : 3 656 (24,0)
Fertilisation organique (par hectare)	127 (0,0)	58 (18,9)	Pâturage : 293 (30,5) Epannage : 34 (24,0)
Fertilisation totale (pour toute l'exploitation)	23 975 (0,0)	15 150 (7,7)	Pâturage : 2 524 (30,5) Epannage : 12 626 (6,9)
Fertilisation totale (par hectare)	225 (0,0)	142 (7,7)	Pâturage : 293 (30,5) Epannage : 119 (6,9)

Exploitation 2			
	Quantité maximale acceptable	Quantité appliquée	Détail des quantités appliquées
Fertilisation organique (pour toute l'exploitation)	11 004 (0,0)	10211 (26,8)	Pâturage : 7 118 (26,8) Epannage : 3 093 (0,0)
Fertilisation organique (par hectare)	155 (0,0)	144 (26,8)	Pâturage : 256 (26,8) Epannage : 43,5 (0,0)
Fertilisation totale (pour toute l'exploitation)	20 097 (0,0)	19 270 (11,8)	Pâturage : 7 118 (26,8)

			Epandage : 12 152 (0,0)
Fertilisation totale (par hectare)	284 (0,0)	272 (11,8)	Pâturage : 256 (26,8)
			Epandage : 171 (0,0)

Exploitation 3			
	Quantité maximale acceptable	Quantité appliquée	Détail des quantités appliquées
Fertilisation organique (pour toute l'exploitation)	2 220 (0,0)	3 670 (15,5)	Pâturage : 1 162 (31,8) Epandage : 2 508 (17,3)
Fertilisation organique (par hectare)	104 (0,0)	173 (15,5)	Pâturage : 290 (31,8) Epandage : 118 (17,3)
Fertilisation totale (pour toute l'exploitation)	6 632 (0,0)	7 014 (8,1)	Pâturage : 1 162 (31,8) Epandage : 5 852 (7,4)
Fertilisation totale (par hectare)	312 (0,0)	330 (8,1)	Pâturage : 290 (31,8) Epandage : 275 (7,4)

Les exploitations 1 et 2 appliquent des quantités d'azote inférieures aux maxima acceptables pour les fertilisations organiques et totales. La fertilisation organique effectuée dans la ferme 1 représente moins de la moitié de la valeur maximale donnée par les normes (45%) et la fertilisation totale correspond à 63% de la valeur maximale permise. Les fertilisations de l'exploitation 2 sont très proches de la valeur maximale permise (plus de 90%).

En ce qui concerne l'exploitation 3, la fertilisation totale est quasi dans les normes mais la fertilisation organique est supérieure aux valeurs normatives; or, cette ferme est située en zone vulnérable depuis 2002 (M. B. du 07/05/2002) et les normes pour la fertilisation azotée organique est passée de 120 kgN/ha à 80 kgN/ha pour les terres arables. Cet écobilan est basé sur cette année de transition et ne reflète donc pas les adaptations réalisées par l'exploitation 3 pour être dans les normes.

La part du pâturage dans la fertilisation totale de l'exploitation atteint 37% dans la ferme 2.

Lessivage des nitrates

Les tableaux suivants présentent les bilans en eau et en azote des sols cultivés qui ont servi à calculer la concentration en nitrate des eaux de percolation.

Tableau 19 – Lessivage des nitrates à partir de l'exploitation 1.

Exploitation 1		
	Entrées et assimilés	Sorties et assimilés
Bilan 'EAU' (m³)		
Précipitations atmosphériques et irrigation	10 000 (0,0)	---
Productions végétales et évapotranspiration	---	7 263 (6,7)
Ruissellement et drainage	---	1 566 (23,1)
Percolation vers nappes	---	1 525 (23,7)
Divers	356 (0,2)	2 (7,0)
Total	10 356 (0,0)	10 356 (6,8)

Bilan 'AZOTE' (kg N)		
Productions végétales	---	148,9 (18,2)
Fertilisation minérale	84,3 (0,0)	23,6 (28,9)
Effluents d'élevage	58,1 (18,9)	28,4 (9,7)
Echange avec l'atmosphère	45,8 (7,4)	27,5 (10,7)
Minéralisation de l'humus	39,2 (9,4)	---
Ruissellement et drainage	---	---
Lessivage de nitrates	---	---
Divers	1,0 (31,4)	---
Total	228,4 (5,3)	228,4 (12,3)
Eaux de percolation (mg NO₃ / l)	0,5 (33,1)	---

Tableau 20 – Lessivage des nitrates à partir de l'exploitation 2

Exploitation 2		
	Entrées et assimilés	Sorties et assimilés
Bilan 'EAU' (m³)		
Précipitations atmosphériques et irrigation	9 502 (4,6)	---
Productions végétales et évapotranspiration	---	4 412 (10,6)
Ruissellement et drainage	---	1 372 (21,2)
Percolation vers nappes	---	16 435 (2,8)
Divers	12 721 (0,0)	4 (11,7)
Total	22 223 (2,0)	22 223 (3,2)
Bilan 'AZOTE' (kg N)		
Productions végétales	---	192,4 (18,8)
Fertilisation minérale	127,9 (0,0)	35,8 (26,4)
Effluents d'élevage	100,5 (26,8)	5,6 (12,5)
Echange avec l'atmosphère	37,9 (11,4)	46,1 (14,1)
Minéralisation de l'humus	58,9 (11,7)	---
Ruissellement et drainage	---	3,6 (22,9)
Lessivage de nitrates	---	43,1 (9,5)
Divers	1,4 (11,6)	---
Total	326,5 (8,6)	326,5 (11,7)
Eaux de percolation (mg NO₃ / l)	11,6 (3,9)	---

Tableau 21 - Lessivage des nitrates à partir de l'exploitation 3

Exploitation 3		
	Entrées et assimilés	Sorties et assimilés
Bilan 'EAU' (m³)		
Précipitations atmosphériques et irrigation	8 000 (4,6)	---
Productions végétales et évapotranspiration	---	5 986 (6,0)
Ruissellement et drainage	---	669 (23,4)
Percolation vers nappes	---	3 394 (6,4)

Divers	2 057 (0,2)	7 (11,2)
Total	10 057 (3,7)	10 057 (4,5)
Bilan 'AZOTE' (kg N)		
Productions végétales	---	201,3 (23,9)
Fertilisation minérale	157,4 (0,0)	44,1 (27,4)
Effluents d'élevage	172,7 (15,5)	63,0 (11,4)
Echange avec l'atmosphère	19,7 (20,2)	61,1 (10,8)
Minéralisation de l'humus	28,2 (12,6)	---
Ruissellement et drainage	---	1,6 (24,3)
Lessivage de nitrates	---	8,0 (9,9)
Divers	1,0 (50,2)	---
Total	379,0 (7,2)	379,0 (13,3)
Eaux de percolation (mg NO₃ / l)		
	10,4 (9,0)	---

Selon EcoFerme, la **concentration en nitrate des eaux de percolation** vaut 0,5 mg/l pour la ferme 1, 11,6 mg/l pour la ferme 2 et 10,4 mg/l pour la ferme 3. Ces valeurs, bien qu'approximatives car dérivées d'une longue chaîne de calcul (Debouche & Lambin 2003), sont inférieures au seuil critique de 50 mg/l fixé par la législation (MB 29/11/2002). La concentration en nitrate des eaux de percolation peut être considérée comme indicateur du **risque de percolation de nitrate**. Les valeurs observées ici sont inférieures à 25 mg/l et peuvent être considérées comme un risque naturel (Debouche & Lambin 2003).

Il faut garder en tête qu'une faible concentration en nitrates dans les eaux de percolation ne signifie pas que les pertes sont faibles. En effet, la quantité de nitrates lessivés par hectares équivaut au volume des eaux de percolation multiplié par leur concentration en nitrates. Les pertes de nitrates dans les eaux de percolation restent négligeables dans l'exploitation 1 (moins de 1 kg/ha) mais elles valent respectivement 190,6 et 35,3 kg de nitrates par hectare pour les fermes 2 et 3.

Les pertes estimées pour ces exploitations sont étonnement faibles en comparaison avec résultats observés par Marioti (1997) selon lesquels une agriculture qui gère au mieux sa fertilisation azotée entraîne des pertes de l'ordre de 30 kgN/ha, soit 11% de la quantité totale d'azote mise en jeu dans la culture. Cependant, même les petites pertes induisent, selon cette étude à long terme, une concentration de 53 mg/l de nitrate dans la lame d'eau qui s'infiltré sous nos climats.

Détail des flux et des bilans en azote calculés par hectares

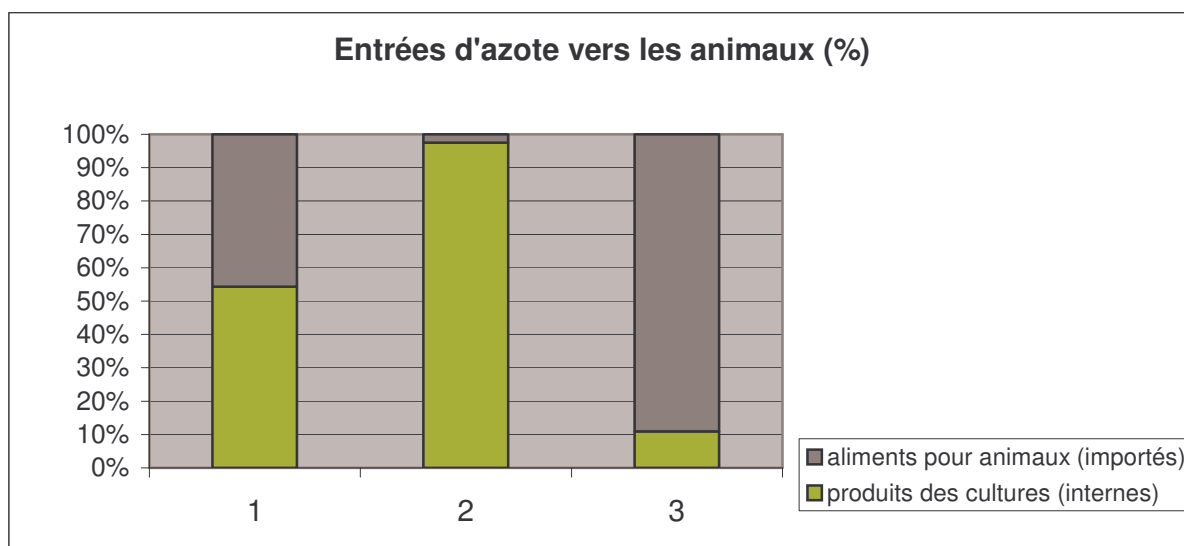
Tous les bilans chiffrés des flux d'azote par hectare sont donnés en annexe. Pour permettre les comparaisons, nous présentons ici les entrées et sorties des différents bilans sous forme de valeurs relatives.

- **Bilan en azote au niveau du compartiment "animaux"**

Les bilans en azote des trois exploitations au niveau du compartiment "animaux" sont très déséquilibrés. Le solde va de -146 kgN/ha pour l'exploitation 1 à -8000 kgN/ha pour l'exploitation 3. Les postes de sorties et de variation de stock estimés par EcoFerme semblent démesurément grands. Hélas, nous n'avons pas pu vérifier auprès des agriculteurs les valeurs de "croissance par jour des animaux" qui sont données par défaut par le logiciel et qui pourraient être responsables d'une surestimation du poste "variation du stock". Par contre nous avons pu constater une surestimation du poste "production d'effluents d'élevage" qui influence la variation de stock puisque qu'il correspond à un surplus par rapport à l'épandage des engrais de ferme encodés (cf. stockage des effluents liquides).

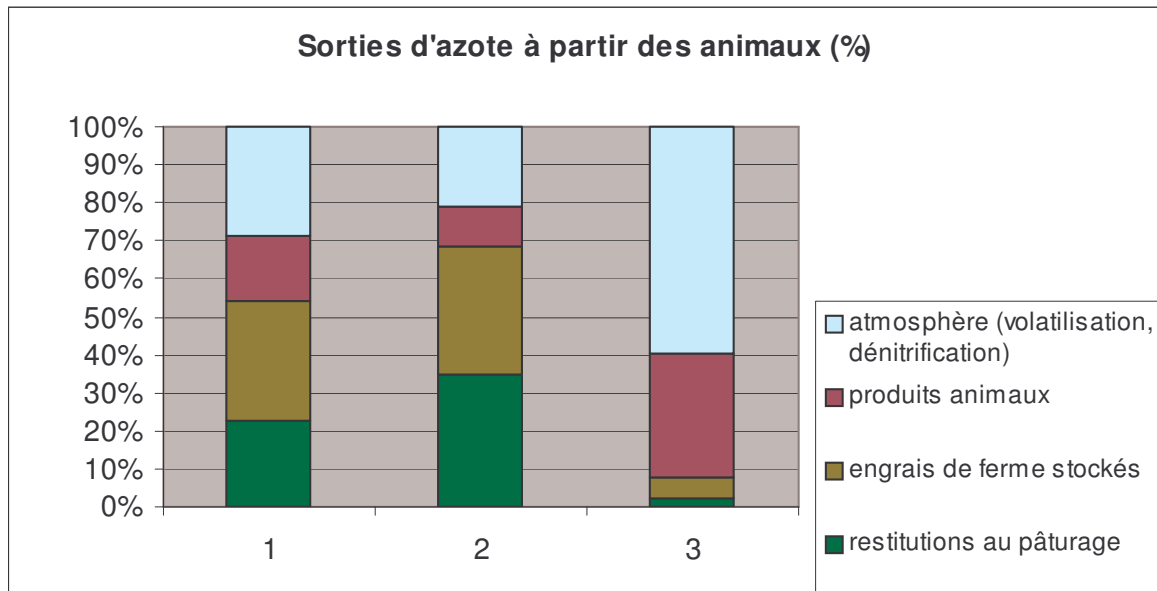
L'azote fourni aux animaux de la ferme 1 (graphique 12) provient dans une même proportion des aliments achetés et des produits fourragers de la ferme. Il est essentiellement produit par les cultures fourragères dans la ferme 2 et est principalement sous forme d'aliments importés dans le cas de la ferme 3.

Graphique 12– Entrées d'azote vers les animaux.



Par rapport à la quantité totale d'azote qui sort de chacun des élevages (graphique 13), celle qui sort sous forme de produit primaire (lait, viande) est la plus grande dans la ferme 3. C'est aussi dans cette ferme que les émissions atmosphériques d'azote sont proportionnellement les plus importantes; elles représentent environ 60% des sorties et sont dues au mode de stabulation (cf. indicateurs). Les fermes 1 et 2 se distinguent de la ferme 3 par leur grande proportion de produits secondaires : les déjections animales produites au pâturage et à l'étable. Remarquons au passage que la plus grande période de pâture pratiquée dans l'exploitation 2 se retrouve dans la plus grande proportion d'azote restitué au pâturage.

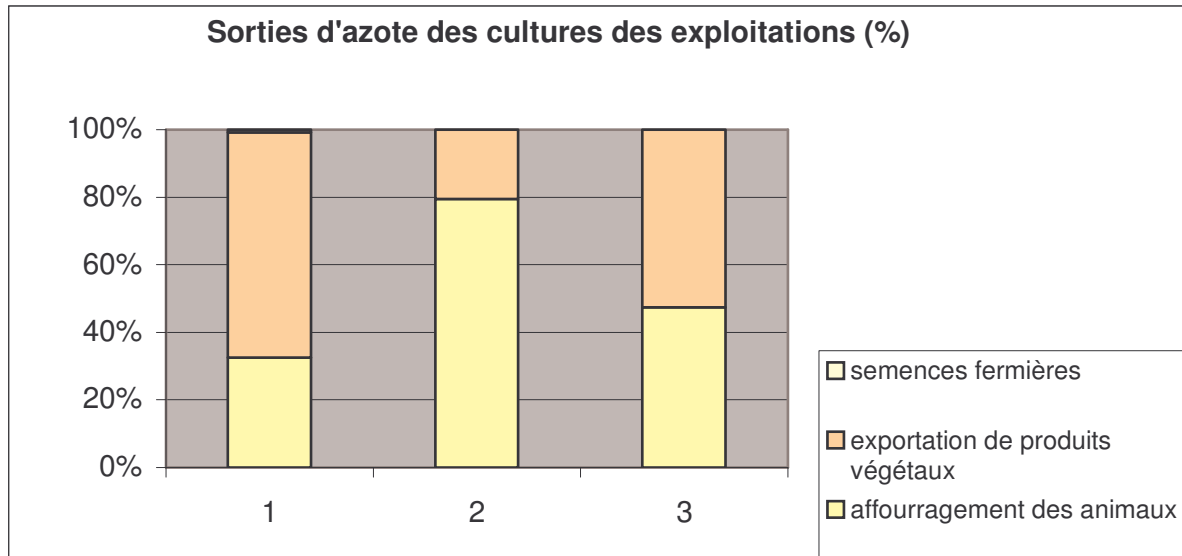
Graphique 13– Sorties d'azote à partir des animaux.



- **Bilan en azote au niveau du compartiment "cultures"**

Les bilans des trois exploitations au niveau du compartiment "cultures" sont équilibrés. Leurs écarts de fermetures sont nuls et leurs variations de stock varient entre 6 kgN/ha pour l'exploitation 1 et 29 kgN/ha pour l'exploitation 3. Les sorties sont majoritairement destinées aux tiers pour l'exploitation 1 contrairement à l'exploitation 2 où elles le sont principalement pour les animaux (graphique 14). Elles se partagent de manière plus ou moins équivalentes pour les tiers et les animaux dans le cas de l'exploitation 3. Les uniques entrées de ce compartiment sont issues du compartiment "sols cultivés".

Graphique 14 – Sorties d'azote des cultures des exploitations.



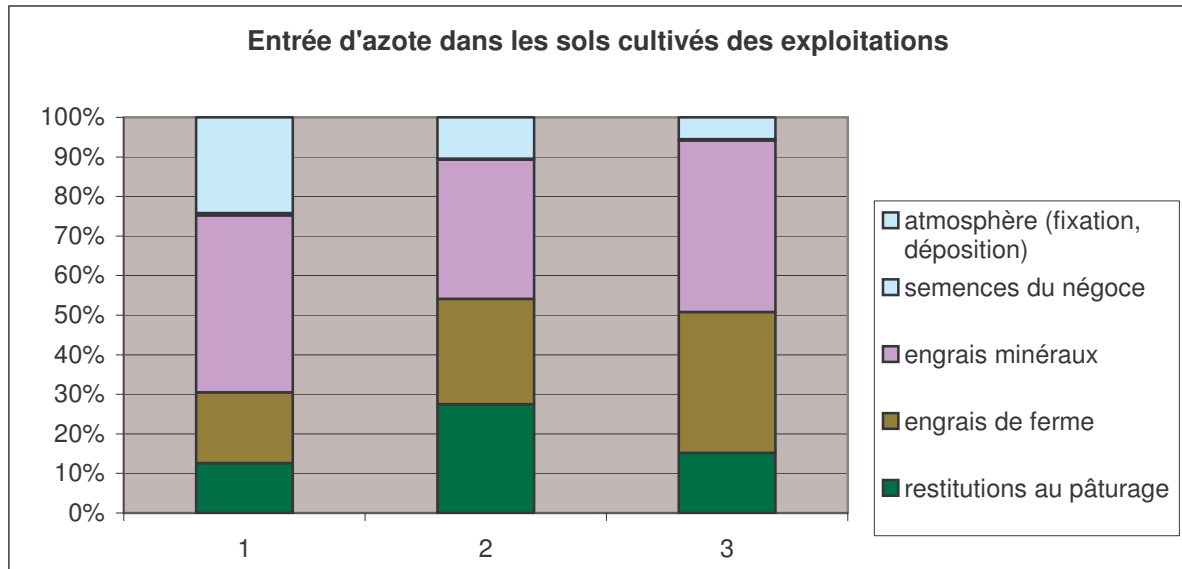
Comme nous pouvions nous y attendre, les semences fermières ne représentent quasi rien dans le bilan en azote des cultures. L'exploitation exporte environ 70% de ses cultures, au contraire de la ferme 2 qui n'en exporte que 20%.

- **Bilan en azote par hectare au niveau du compartiment "sols cultivés"**

Les bilans des trois exploitations au niveau du compartiment "sols cultivés" sont équilibrés. Leurs écarts de fermeture sont nuls et leurs variations de stock varient entre 50 kgN/ha pour l'exploitation 1 et 116 kgN/ha pour l'exploitation 3. Cette variation de stock est indicatrice de la variation du stock d'azote organique dans le sol cultivé (cf. indicateurs). C'est à partir de ce bilan que sont estimés les quantités d'azote perdues dans les eaux souterraines et dans les eaux de surface (cf. indicateurs).

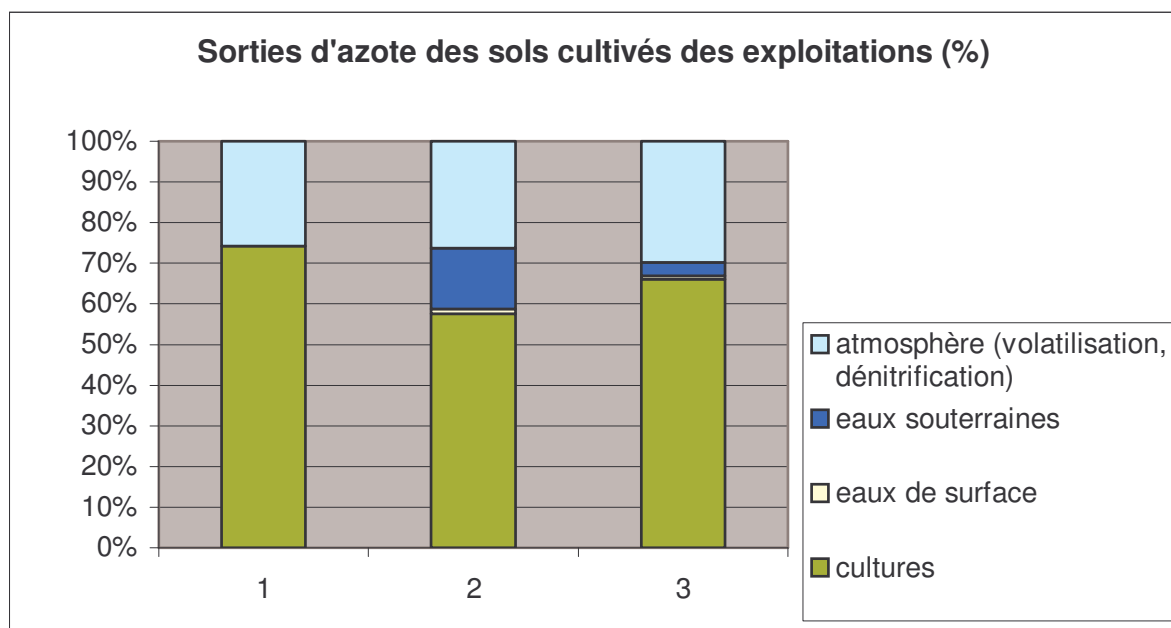
Les entrées d'azote sous forme d'engrais de ferme sont proportionnellement moins importantes dans la ferme 1 car sa charge animale est plus limitée (graphique 15). Par contre les apports d'azote atmosphérique y ont une part relativement plus importante. En effet la ferme 1 cultive proportionnellement plus de légumineuses (23% de la SAU) que la ferme 2 (19% de la SAU) ou que la ferme 3 (aucune culture de légumineuses).

Graphique 15– Entrée d'azote dans les sols cultivés des exploitations.



Concernant les sorties d'azote des sols cultivés, ce sont les produits végétaux qui contiennent, dans les trois cas, la plus grande proportion de l'azote issu des sols cultivés (graphique 16). Les pertes dans les eaux de surface sont très faibles par rapport aux pertes dans les eaux souterraines; ceci peut s'expliquer par la faible surface drainée des exploitations 1 et 2.

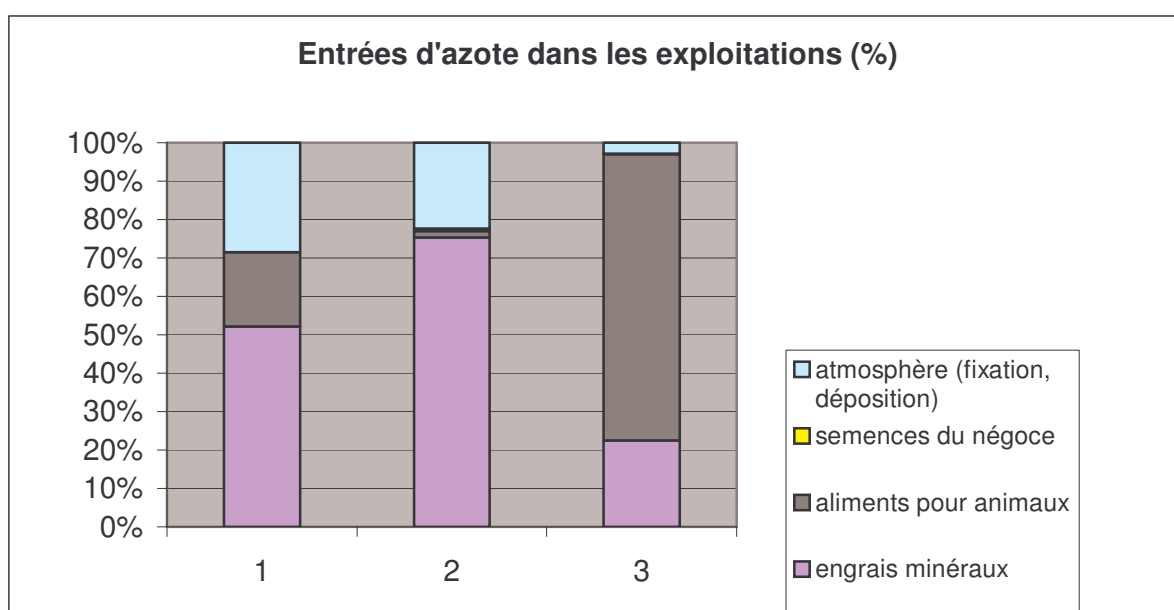
Graphique 16 – Sorties d'azote des sols cultivés des exploitations.



- **Bilan en azote par hectare au niveau de l'exploitation**

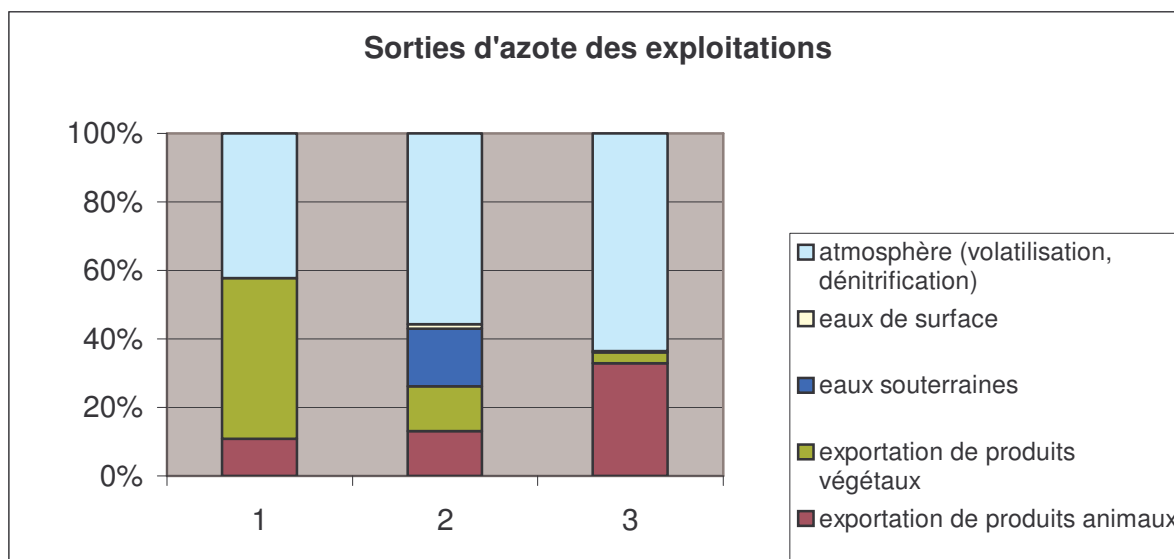
Le bilan à l'exploitation intègre les soldes de tous les compartiments précédents. Comme cela a déjà été dit dans le chapitre des indicateurs, les achats d'azote sont principalement sous forme d'engrais minéraux pour les fermes 1 et 2 et essentiellement sous forme d'aliment pour bétail dans le cas de la ferme 3. Ce graphique montre en outre l'importance de l'atmosphère dans le bilan en azote à l'échelle de l'exploitation.

Graphique 17 – Entrées d'azote dans les exploitations.



Le bilan en sorties d'azote des exploitations est biaisé par les surestimations de la production d'engrais de ferme (graphique 18).

Graphique 18– Sorties d'azote des exploitations.



Les sorties d'azote des exploitations reflètent leur orientation : l'azote exporté se retrouve principalement sous forme de produits végétaux dans l'exploitation 1 et sous forme de produits animaux dans l'exploitation 3. La situation est intermédiaire dans l'exploitation 2.

Comme dans le cas des entrées d'azote, remarquons la large part de l'azote atmosphérique dans le bilan à l'exploitation.

Stockage des effluents liquides

Les tableaux suivants reprennent les résultats concernant le stockage des engrais de ferme donnés par EcoFerme pour les trois exploitations.

Tableau 22 – Valeurs de stockage des effluents liquides.

Exploitation 1	Lisier
Production annuelle d'effluents (m ³)	457,3 (7,1)
Volume de stockage (m ³)	302 (0,0)
Capacité de stockage (mois)	7,9 (7,1)

Exploitation 2	Purin
Production annuelle d'effluents (m ³)	215,6 (6,9)
Volume de stockage (m ³)	55 (0,0)
Capacité de stockage (mois)	3,1 (6,9)

Exploitation 3	Lisier
Production annuelle d'effluents (m ³)	26184,8 (8,1)
Volume de stockage déclaré (m ³)	743
Capacité de stockage (mois)	0,3 (8,1)

Selon EcoFerme, seule l'exploitation 1 possède les capacités de stockage suffisantes pour dépasser le seuil de 6 mois réglementaire (MB 29/11/2002).

Toujours selon EcoFerme, les capacités de stockage des exploitations 2 et 3 sont respectivement 2 et 20 fois trop faibles pour tenir 6 mois. Cette conclusion apparaît douteuse lorsque l'on compare les quantités d'effluents produits selon EcoFerme avec les normes et les quantités révélées par les agriculteurs (tableau 23). Pour les 3 stocks liquides étudiés, EcoFerme surestime nettement la production annuelle.

Tableau 23 - Comparaison des estimations annuelles de production d'engrais de ferme liquide.

Comparaison des estimations annuelles de production d'engrais de ferme liquide					
exploitation	Type d'engrais de ferme	Selon l'agriculteur	Selon normes ¹³	Selon le programme Ferti MO	Selon le programme Ecoferme
Unité		(m ³)	(m ³)	(m ³)	(m ³)

¹³ le volume d'effluent produit pour l'exploitation a été calculé d'après les chiffres de l'annexe 1 de l'arrêté relatif à la gestion durable de l'azote en agriculture : (en m³/animal * 6 mois) multiplié par le nombre de bovins de l'exploitation étudiée et ajusté selon la durée annuelle de stabulation.

Exploitation 1	Lisier de bovin	330	383	329	457,3
Exploitation 2	Purin de bovin	Non mesurable	126	88	215,6
Exploitation 3	Lisier de procin	750	4060 / place	2178	26 185

Pratiques agricoles

Le pourcentage des pratiques agricoles obligatoires, conseillées et volontaires appliquées par les agriculteurs sont donnés dans le tableau 24.

Tableau 24 – Valeurs de pratiques agricoles.

Exploitation 1	Proportion des bonnes pratiques respectées ou mises en oeuvre (%).
Pratiques obligatoires	100
Pratiques conseillées	100
Pratiques d'application volontaire	7,7

Exploitation 2	Proportion des bonnes pratiques respectées ou mises en oeuvre (%).
Pratiques obligatoires	100
Pratiques conseillées	40
Pratiques d'application volontaire	7,7

Exploitation 3	Proportion des bonnes pratiques respectées ou mises en oeuvre (%).
Pratiques obligatoires	100
Pratiques conseillées	50
Pratiques d'application volontaire	7,7

Les **pratiques obligatoires** correspondent aux modalités d'épandage et de stockage des fertilisants. Celles-ci sont intégralement respectées par les trois agriculteurs étudiés.

Les **pratiques conseillées** se rapportent aux pratiques phytosanitaires et aux matériels de traitement. Elles sont toutes respectées (ou mises en œuvre) dans l'exploitation 1 et le sont à 40 et à 50% respectivement dans les exploitations 2 et 3. On constate ici les conséquences de l'encadrement de M-H Durdu du Parc Naturel des Plaines de l'Escaut.

Enfin, les **pratiques d'application volontaires** qui reprennent les mesures agri-environnementales, une seule et même mesure est pratiquée dans les trois exploitations; c'est la couverture du sol pendant l'interculture. L'exploitation 1 a commencé la pratique des tournières en 2003 et l'exploitation 2 le prévoit pour 2004.

L'utilisation de produits phytosanitaires

Les indicateurs EcoFerme relatifs à l'utilisation des produits phytosanitaires n'ont pu être exploités intégralement car la plupart des noms de produits donnés par les agriculteurs ne se retrouvent pas dans les listes fermées d'encodage. Ceci est dû à la diversité des produits accessibles sur le marché. A titre d'exemple, les listes prévues par EcoFerme ne mentionnent que 9 des 59 noms de produits utilisés par l'agriculteur 1. Les résultats obtenus d'après ces 10 produits indiquent que 143 kg (ou litres) ont été répandus sur les terres. Ils représentent 1,3 kg par hectare et consistent en 10 matières actives différentes. Parmi ces substances on trouve :

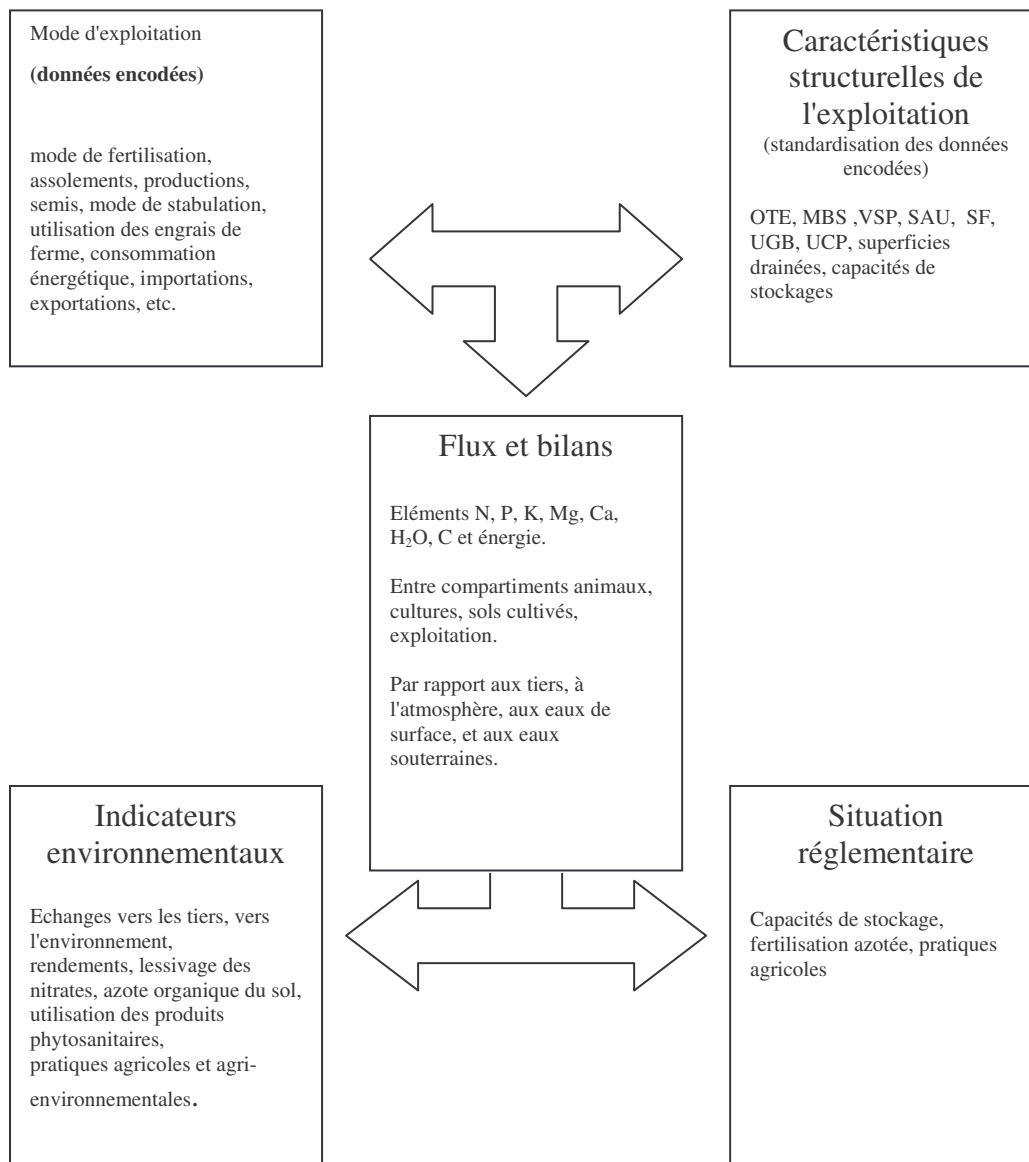
- 17 kg représentent un danger pour la santé ou l'environnement,
- 3 matières actives risquent de se retrouver dans les eaux souterraines,
- 3 matières actives risquent de se retrouver dans les eaux de surface,
- 2 sont particulièrement toxiques pour la faune aquatique,
- 1 est particulièrement toxiques pour la santé humaine,

mais aucune ne représente de risque particulier pour la faune sauvage.

Conclusion de l'écobilan EcoFerme

Le bilan EcoFerme a permis de caractériser assez précisément les trois exploitations étudiées à partir des données qui émanent intégralement de l'agriculteur. L'objectif principal qui est de fournir un outil d'évaluation directement manipulable par l'agriculteur est donc atteint.

Le schéma suivant illustre le mode d'évaluation que fournit EcoFerme : A partir du mode d'exploitation et des données structurales de l'exploitation, EcoFerme estime les nombreux flux et bilans des différents compartiments de l'exploitation à partir desquels sont établies plusieurs indications sur les impacts environnementaux potentiels et la situation réglementaire de l'exploitation.



EcoFerme fournit au gestionnaire de nombreuses indications sur les processus qui se déroulent à **partir** de son exploitation et qui ont des répercussions **dans et en dehors** de celle-ci. Il peut mettre à profit ces indications afin d'améliorer les répercussions économiques et environnementales de ses pratiques.

En ce qui concerne les trois exploitations étudiées, l'écobilan EcoFerme a montré que les pratiques plus intensives augmentent les flux en matière par hectare; augmentent les soldes des bilans calculés à l'hectare; ont tendance à ouvrir le cycle de transfert des nutriments; augmentent les pertes d'ammoniac dans l'atmosphère (ferme 3); diminuent les rendements et sont plus proches des limites réglementaires.

Il est important d'ajouter que les trois écobilans réalisés dans ce travail sont incomplets :

- Quelques données n'ont pas pu être récoltées auprès des agriculteurs (consommation énergétique et en eau de distribution de l'exploitation 2).
- Les résultats incohérents fournis par le programme n'ont pas permis d'exploiter toutes opportunités prévues par la méthode EcoFerme (codes OTE; calculs de rendements et d'UGB de l'exploitation 3; couverture du sol; etc.).
- L'interprétation n'a pas été poussée au maximum étant donné les nombreux recoupements possibles à partir de ces nombreux indicateurs.

En ce qui concerne les quelques résultats incohérents, il est possible que les modifications successives du programme aient perturbé le bon fonctionnement du programme.

D'autre part, il pourrait être intéressant d'ajouter à l'écobilan EcoFerme un indicateur de "refuge pour la vie sauvage" qui pourrait être approché par le pourcentage de surface non cultivée ou le pourcentage de surface non traitée par les pesticides.

Comparaison des deux types d'évaluation

Tableau 25 – Comparaison des deux types d'évaluation.

	Ferti-MO	EcoFerme
Utilisateurs	Les agriculteurs	Les agriculteurs
Objectifs immédiats	Gestion des engrais de ferme Plan de fumure	Gestion intégrée de l'exploitation
Objectifs ultimes	Valorisation des engrais de ferme (meilleure utilisation et estimation de la valeur financière), Agriculture raisonnée,	Amélioration des pratiques agricoles dans un intérêt économique et environnemental
Echelle des bilans	Parcelle, stocks	Cultures, animaux, sols cultivés, exploitation
Éléments pris en compte	N, P ₂ O ₅ , K ₂ O, MgO, Na ₂ O, CaO	N, P, K, Ca, Mg, C, eau, énergie

Ferti-MO a un champ d'application plus restreint et plus précis que EcoFerme. Il se concentre sur le bilan en nutriments à l'échelle de la parcelle et permet une gestion technique des différents types d'engrais de ferme par l'estimation de leur contenu en éléments N, P, K, Mg, Na et Ca et la possibilité d'intégrer les valeurs mesurées par des analyses. Le bilan en azote maîtrisable est distingué du bilan en azote restitué par le pâturage et les eaux de laiterie sont prises en compte pour quantifier les dilutions des stocks.

EcoFerme donne quant à lui une vision plus large des processus qui sont associés à l'exploitation agricole. L'estimation des différents flux permet de faire un lien entre les pratiques agricoles, les performances économiques, les impacts environnementaux et la situation réglementaire de l'exploitation.

Conclusion générale

Les programmes Ferti-MO et EcoFerme sont apparus appropriés pour :

- **Evaluer** la situation agronomique, technique et environnementale des trois exploitations étudiées.
- **Sensibiliser** l'utilisateur du logiciel aux conséquences des différentes pratiques agricoles (valorisation des engrais de ferme, agriculture raisonnée, bonnes pratiques).
- Aider l'utilisateur à **gérer** au mieux son exploitation en fonction de nombreux facteurs en jeu.

Ces deux méthodes sont complémentaires et leur combinaison permet de naviguer entre évaluation intégrée et simulation par la modification de paramètres précis.

Leur application à trois fermes exploitées différemment a permis de mettre en évidence leurs performances économiques et environnementales :

La ferme 1 pratique une agriculture raisonnée qui permet de considérables économies (bilan apparent nul ou négatif) et, simultanément, limite fortement les effets néfastes avec l'environnement (bilan des échanges avec l'environnement relativement faibles). Au contraire, le mode de gestion plus intensif de l'exploitation 3 et, à un moindre degré, de l'exploitation 2 est plus coûteux pour l'économie de l'exploitation ainsi que pour l'environnement.

Cette approche est une étape essentielle pour une gestion durable de la Région car la superficie agricole du Hainaut couvre 220 000 ha des 372 000 ha de la Province. L'agriculture est en grande partie responsable de la pollution du méthane et de l'ammoniac dans l'atmosphère ainsi que des nitrates dans les eaux. De plus, les contraintes économiques et environnementale s'amplifient. En effet, même si la pollution des nitrates dans les eaux souterraines reste relativement limitée en Hainaut occidental, les mesures montrent qu'elle est en progression sur la période 1993-2001 (Observatoire des eaux souterraines 2003).

Perspectives

Les résultats de l'analyse EcoFerme méritent d'être interprétés de manière plus complète, en précisant les flux des éléments P, K, Mg, Ca, C et énergie ainsi qu'en prenant en compte les comparaisons avec les valeurs moyennes des exploitations de même OTE.

Il serait en outre intéressant de développer les combinaisons possibles entre les logiciels Ferti-MO et EcoFerme. Voici quelques exemples de combinaisons possibles :

- Evaluer avec EcoFerme les répercussions économiques et environnementales des plans de fumures établis par Ferti-MO.
- Préciser les bilans d'azote "cultures" de EcoFerme au niveau parcellaire avec Ferti-MO.
- Vérifier, de manière réciproque, les estimations des deux méthodes dans leurs domaines d'applications communs.

Bibliographie

Baars T., 1998, Modern solutions for mixed systems in organic farming, in Van Keulen et al 1998.

Bel F., Lacroix A., Mollard A., Regairaz E., 1999, Réduire la pollution azotée: les choix préalables d'une politique publique, Le courrier de l'environnement, n°36.

Benoît M., 2000, Gestion des déjections animales et qualité des eaux, deux niveaux de recherche pour l'agronome, la parcelle et la bassin. Un niveau de pilotage par l'agriculteur, son territoire d'exploitation, INRA, in Falisse 2000.

Bockstaller C., 2001, Comparaison transfrontalière de deux systèmes d'indicateurs agro-écologiques, Forum ITADA, Sissach, Suisse.

Comité nitrate, 1996, Bilans des éléments nutritifs en agriculture, Approches méthodologiques, mise en œuvre de l'interprétation, Journée d'étude.

Comite voor toegapaste bodemkunde, 1989, Simulatie als hulpmiddel bij het stikstofbemestingsadvies voor de teelten wintertarwe en suikerbieten, Instituut tot Aanmoediging van het Wetenschappelijk Onderzoek in Nijverheid, I.W.O.N.L, Brussel.

C.R.E.P.A., 2002, Rapport annuel, B.E.R.

Creusot A., 1996, Le bilan de l'azote à l'exploitation, CORPEN, p19-24, in Comité Nitrate, 1996..

Debouche C., Lambin J., 2002, L'écobilan de l'exploitation agricole, 7^{ème} colloque international des spécialistes francophones en évaluation d'impacts.

Debouche C., Lambin J., 2003, écobilan de l'exploitation agricole, logiciel ECOFERME, manuel d'utilisation, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux.

DELAR, 1993, Accountancy of dairy husbandry, Research station for cattle, sheep and horses, Lelystad, in, Van den Brandt 1998.

Deprez M., 2001, Un survol de l'agriculture du Hainaut, Le sillon belge, p 9.

*De Wit J., Oldenbroek J.K., van Keulen H and Zwart D., Criteria for sustainable livestock production: a proposal for implementation, Agriculture, Ecosystems and Environment, 1995, 53, 219-229.

Eckert H., Breitschuh G., Sauerbeck D., 2000, criteria and standards for sustainable agriculture, Journal of plant nutrition and soil science, 163 : 337-351.

Falisse A. (prés.), 2000, Gestion de l'azote en prairie et qualité des eaux, journée d'étude, Comité Nitrates, Agraost.

Falisse A. (prés.), 1996, Bilans des éléments nutritifs en agriculture, approches méthodologiques, mises en œuvre et interprétation, journée d'étude, Comité nitrate, Tervuren.

Frankinet M., Destain J-P., Romedenne B., 2002, Convention relative à une mission d'étude sur l'adaptation du secteur cominois aux exigences de la directive nitrate, volet fertilisation, Centre de recherches agronomiques, département productivité végétale et Ministère de la Région wallonne, DGRNE.

Frissel M. J., 1978, Cycling of mineral nutrients in agricultural ecosystems, Elsevier Scientific Publishing company, Amsterdam.

Godden B., Penninckx M., 1997, Management of farmyard manure composting is important to maintain sustainability in organic farming, in Isart et al. 1997.

Godden B., Luxen P., Destain JP., Fabry L., Penninckx M., Oger R., 2003, Ferti-WAL, Un outil informatique pour l'optimisation de la gestion de la fertilisation organique et minérale des systèmes agricoles en Wallonie, Convention Région wallonne.

Goewie E.A., 1998, Mixed farming as a way to sustainability, in Van Keulen et al. 1998.

Grignani C., Nitrogen cycling in organically managed crop rotations: importance of rotation design, 1997, in Isart et al., 1997, 69-70.

Guillaumin A., Houdoy D., Sabalçagaray P., (Institut de l'élevage), Liénard A., (Cemagref), 2003, Le traitement des effluents de salle de traite, guide pour la conception des ouvrages, Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche et des affaires rurales, Agence de l'eau, Chambres de l'agriculture, 27p.

Halberg N., 1997, Farm level evaluation of resource use and environmental impact, in Isart et al., 1997, 213-224.

Isart J., Köpke U., Penninckx M., Godden B., Baars T., Zanolli R., McKinlay R.G., 1997, Resource use in organic farming, Proceedings of the third European network in organic farming (ENOF), Isart & Llerena, LEAAM-Agroecologia, Barcelona.

Kirchmann H., Johnston AE., Bergstrom LF., 2002, Possibilities for reducing nitrate leaching from agricultural land, *Ambio*, 31, 5, 404-408.

Lemaire G., & Nicolardot B., 1997, Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes, les colloques n°83, INRA éditions.

Luxen P. & Godden B., 2003, Ferti-MO , Agra-Ost, (www.agraost.be)

Mariotti A., 1997, Quelques réflexions sur le cycle biogéochimique de l'azote dans les agrosystèmes, in Lemaire & Nicolardot, 1997.

MB 31/03/1999, Arrêté du gouvernement wallon du 11 mars 1999 relatif à l'octroi de subventions agri-environnementales, modifié par l'arrêté du gouvernement wallon du 15 décembre 2000 (MB 10/02/2001)..

M.B. du 07/05/2002, Arrêté ministériel du 19 mars 2002 désignant la Commune de Comines-Warneton comme zone vulnérable.

MB 29/11/2002, Arrêté du gouvernement wallon du 10 octobre 2002, Gestion durable de l'azote en agriculture.

Ministère de la Région wallonne, 2000, pourcentage de saturation en azote provenant des effluents d'élevage par commune en Région wallonne en 1998, division générale des ressources naturelles et de l'environnement, division de l'eau, www.environnement.wallonie.be (août 2003).

Moortgat, M., 2002, Situation de l'agriculture en Hainaut, Sillon, p 8.

Nitrawal, 2002, Résumé PGDA, Programme wallon de gestion durable de l'azote en agriculture (PGDA).

Observatoire des eaux souterraines, 2003, Nitrates dans les eaux souterraines, division générale des ressources naturelles et de l'environnement, division de la coordination informatique & division de l'eau, <http://mrw.wallonie.be/dgnre/de/eso/atlas/figures/c381.gif> (Août 2003).

Peigne J., 2003, Méthode d'évaluation des pratiques agri-biologiques sur la qualité de l'air à l'aide d'indicateurs agri-environnementaux, Thèse présentée à l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes, Institut national de la recherche agronomique (INRA), département Environnement – Agronomie, Equipe agriculture durable.

Rabbinge R., & Van Latesteijn H.C., 1998, Sustainability, risk perception and the perspective of mixed farming systems, in Van Keulen et al. 1998.

Rouso, amendements, Le courrier de l'environnement, n°37 p. 54

Rouso, analyse de données, Le courrier de l'environnement, n°43 p. 55

Schröder J.J., Oenema O., Pietrzak S., 1998, Nitrogen cycling and nitrogen surpluses in mixed farming systems: What are the determinants ?, in Van Keulen, 1998, 121-127.

Stewart M., Balanced fertilization and the environment, 2003, Crop Nutrient and the environment, Progress through knowledge.

Stilmant D., Limbourg P., Fabry L., Lecomte Ph., Decruyennaere V. et Luxen P., 2000, Améliorer la gestion de l'azote dans les exploitations herbagères, in Flaba, 2000, 33-44.

Stoate C., Boatman ND., Borralho RJ. Carvalho CR., de Snoo GR., Ed?? P., Ecological impacts of arable intensification in Europe, 2001, Journal of Environment management, 63, 4, 337-365.

Sveinsson Th., Halberg N., Kristensen I.S., 1998, Problems associated with nutrient accounting and budgets in mixed farming systems, in Van Keulen et al. 1998, 130:135.

Tychon B., 1996, Du bilan azoté agricole à la parcelle au bilan azoté environnemental d'un bassin versant, Falisse et al. 1996

Van Bol V., 2000, azote et agriculture durable, approche systémique en fermes-pilotes, thèse, Université catholique de Louvain, faculté des sciences agronomiques, laboratoire d'écologie des prairies, Louvain-la-neuve.

Van Bol V., Peeters A., 1997, comparison of three nutrient balance methods for nitrogen, phosphorus and potassium on an annual basis with a group of mixed dairy organic farms, NENOF newsletter of the european network for scientific research coordination in organic farming, 5, in Van Bol, 2000.

Van den Brandt H.M.P., Smit H.P., 1998, Mineral accounting: the way to combat eutrophication and to achieve the drinking water objective, Environmental pollution, 102, S1, 705-709.

Van der Werf H.M.G., Petit J., 2002, Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods, Agriculture, Ecosystems & Environment, 93, 131-145.

Van Eerd M., 2002, The nutrient balance as an agri-environmental indicator, national balances, regional balances and farm balances, Agriculture and rural information applied to defense of nature and environment (ARIADNE), International conference, Greece.

Van Horn HH., Newton GL., Kunkle WE., 1996, Ruminant nutrition from an environmental perspective: factors affecting whole-farm nutrient balance, J anim Sci, 74, 12, 3082-3102.

Van Keulen H., Lantinga E.A., Van Laar H.H., 1998, Mixed farming systems in Europe, workshop proceedings, APMinderhoudhoeve-reeks nr. 2, Landbouwniversiteit Wageningen.

Vazzana C., 2002, Farm management and environmental issues in the EU, 13th international congress of farm management IFMA, feed the world, please de consumer, maintain environment.

Wang S.J., Fox DG., Cherney DJ., Klausner SD., Bouldin DR., 1999, Impact of dairy farming on well water nitrate level and soil content of phosphorus and potassium, J Dairy Sci., 82, 10, 2164-2169.

Watson C.A. & Atkinson D., 1998, Using nitrogen budgets to indicate nitrogen use efficiency and losses from whole farm systems: a comparison of three methodological approaches, Nutrient cycling in agroecosystems, in Van Keulen and al. 1998, 129-133.

Withers PJ & Lord EI., 2002, Agricultural nutrient inputs to rivers and groundwaters in the UK: policy, environmental management and research needs, Sci Total Environ, 23, 282-283, 9-24.

Zhang Y W., Yin X., Ma Q., Shen S., 2002, Effect of different fertilization system on soil nutrient budget, Ying Yong Sheng Tai Xue Bao, 13, 12, 1571-1574.

Table des matières

Résumé.....	3
Introduction.....	4
A Vers une agriculture raisonnée.....	4
A.1 Historique.....	4
A.2 Résumé des impacts environnementaux de l'agriculture intensive.....	4
A.3 L'agriculture raisonnée.....	6
A.4 Les outils d'évaluation et de gestion.....	9
A.5 La méthode des bilans.....	10
B Cadre réglementaire.....	16
B.1 Union Européenne.....	16
B.2 Région wallonne.....	16
C Deux outils de conseils : Ferti-mo et ecoferme.....	19
C.1 Ferti-MO.....	19
C.2 EcoFerme.....	23
D La situation agricole en Hainaut.....	27
D.1 Les cultures.....	28
D.2 L'élevage.....	28
D.3 La pollution en nitrate des eaux souterraines.....	28
Objectifs.....	31
Matériel et méthodes.....	32
A familiarisation avec les logiciels Ferti-MO et EcoFerme.....	32
B Enquêtes auprès des agriculteurs.....	32
B.1 Exploitations étudiées.....	32
B.2 Année prise en compte dans les bilans.....	33
B.3 Réalisation d'un questionnaire papier.....	33
B.4 Encodage des données.....	34
C Plan de fumure.....	34
D Interprétation des résultats.....	35
D.1 Ferti-MO.....	35
D.2 EcoFerme.....	35
Résultats.....	37
A Pratique de l'utilisation des programmes.....	37
B Résultats de l'analyse des programmes.....	38
B.1 Résultats de l'analyse Ferti-MO.....	38
B.1.1 Description du cheptel et production d'azote.....	38
B.1.2 Productions et stockage des effluents d'élevage.....	39
B.1.3 Production et stockage des eaux de laiterie.....	44
B.1.4 Conclusion concernant les stocks d'engrais de ferme.....	45
B.1.5 Description des superficies de l'exploitation.....	46
B.1.6 Description des parcelles.....	47
B.1.7 Plan de fumure pour l'exploitation 1.....	48
B.1.8 Plan de fumure de l'exploitation 3.....	56
B.1.9 Conclusion de l'analyse Ferti-MO.....	61
B.2 Résultats de l'analyse EcoFerme.....	62
B.2.1 Caractéristiques structurelles des exploitations.....	62
B.2.2 Indicateurs.....	64
B.2.3 Fertilisation azotée.....	71
B.2.4 Lessivage des nitrates.....	72
B.2.5 Détail des flux et des bilans en azote calculés par hectares.....	75
B.2.6 Stockage des effluents liquides.....	80
B.2.7 Pratiques agricoles.....	81
B.2.8 L'utilisation de produits phytosanitaires.....	82
B.2.9 Conclusion de l'écobilan EcoFerme.....	83
C Comparaison des deux types d'évaluation.....	85
Conclusion générale.....	85
Perspectives.....	86
Bibliographie.....	86

Liste des figures

Figure 1 - Transfert cyclique des nutriments en agriculture mixte.....	4
Figure 2 - Le cycle de l'azote (Mariotti 1997).....	8
Figure 3 - Les nitrates dans les eaux souterraines de la Région wallonne (Observatoire des eaux souterraines 2003).....	29

Liste des tableaux

Tableau 1 – Différents postes comptabilisés pour un bilan en azote à l'échelle parcellaire, de l'exploitation et de l'assolement.....	11
Tableau 2 – Conditions des enquêtes.....	37
Tableau 3 – Description du cheptel et production d'azote.....	38
Tableau 4 – Production et stockage des effluents liquides.....	40
Tableau 5 – Production et stockage des effluents solides.....	41
Tableau 6 - Comparaison des teneurs moyennes en P ₂ O ₅ , K ₂ O, CaO, MgO et Na ₂ O obtenues par analyses du lisier de l'exploitation 1 avec celles données par Ferti-MO.....	43
Tableau 7 – Valeurs de production et stockage des eaux de laiterie.....	44
Tableau 8 – Bilan du stockage.....	45
Tableau 9 – Descriptions des superficies de l'exploitation.....	46
Tableau 10 - Rendements espérés par l'exploitant agricole.....	48
Tableau 11 - Paramètres économiques.....	62
Tableau 12 – Superficies.....	63
Tableau 13 – Animaux.....	64
Tableau 14 - Soldes apparents.....	65
Tableau 15 - Echanges avec l'environnement.....	67
Tableau 16 - Rendements en azote.....	68
Tableau 17 - Indicateurs pour le compartiment "sol cultivé".....	70
Tableau 18 – Résultats donnés par EcoFerme concernant la fertilisation azotée.....	71
Tableau 19 – Lessivage des nitrates à partir de l'exploitation 1.....	72
Tableau 20 – Lessivage des nitrates à partir de l'exploitation 2.....	73
Tableau 21 - Lessivage des nitrates à partir de l'exploitation 3.....	73
Tableau 22 – Valeurs de stockage des effluents liquides.....	80
Tableau 23 - Comparaison des estimations annuelles de production d'engrais de ferme liquide.....	80
Tableau 24 – Valeurs de pratiques agricoles.....	81
Tableau 25 – Comparaison des deux types d'évaluation.....	85

Liste des graphiques

Graphique 1 - Evolution des assolements de l'exploitation 1 de 2002 à 2003.....	48
Graphique 2 - Besoins en azote des parcelles par hectare.....	49
Graphique 3 - Effet de l'encodage des analyses de terre.....	51
Graphique 4 - Effet des engrais verts sur les besoins en azote par hectare.....	52
Graphique 5 – Effet des engrais verts sur le besoin total en azote des parcelles de l'exploitation 1.....	53
Graphique 6 – Contribution des engrais de ferme sur les besoins en azote par hectare selon le plan de fumure proposé pour l'exploitation 1.....	55
Graphique 7 – Evolution des cultures de l'exploitation 3 entre 2002 et 2003.....	56
Graphique 8 – Besoins en azote par hectare des parcelles de l'exploitation 3.....	57
Graphique 9 – Détail des corrections sur le besoin final en azote des parcelles de l'exploitation 3.....	58
Graphique 10 – Contribution des engrais de ferme sur les besoins en azote par hectare selon le plan de fumure proposé pour l'exploitation 3.....	58
Graphique 11 – Relations intensification – productivité – efficacité d'utilisation de l'azote pour les cultures.....	69
Graphique 12– Entrées d'azote vers les animaux.....	75
Graphique 13– Sorties d'azote à partir des animaux.....	76
Graphique 14 – Sorties d'azote des cultures des exploitations.....	77
Graphique 15– Entrée d'azote dans les sols cultivés des exploitations.....	78
Graphique 16 – Sorties d'azote des sols cultivés des exploitations.....	78
Graphique 17 – Entrées d'azote dans les exploitations.....	79
Graphique 18– Sorties d'azote des exploitations.....	79

Liste des abréviations

Av h.	avoine d'hiver
Bett suc	betterave sucrière
Bett Fourr	betterave fourragère
Chic suc	chicorée à sucre
From h.	froment d'hiver
ha	hectare
Haric	haricots
kg	kilogramme
kgN	kilogramme d'azote
kgN/ha	kilogramme d'azote par hectare
LS-Base	Taux de liaison au sol
Luz	luzerne
MBS	Marge brute standard
m.f.	matière fraîche
m.s.	matière sèche
N	azote
Pdt	pomme de terre
Pois c	pois de conserverie
Prair p p	prairie permanente pâturée
P perm M	prairie permanente mixte
P perm F	prairie permanente fauchée
Sei h.	seigle d'hiver
Ray g	Ray grass
SAU	Surface agricole utile
VSP	Valeur standardisée de la production

Annexe II

Flux et bilans				
Exploitation 1				
Azote: kg N	Entrées	Sorties	Variation de stock	Ecart de fermeture
Cultures	38 (30,4)			
Sol cultivé		58 (18,9)		
Tiers	32 (0,2)	18 (4,2)		
Atmosphère		31 (26,3)		
Eaux de surface				
Eaux souterraines				
Animaux	70 (16,6)	107 (12,8)	109 (25,0)	- 146 (4,7)
Animaux		38 (30,4)		
Sol cultivé	112 (23,9)	1 (24,4)		
Tiers		78 (30,5)		
Atmosphère				
Eaux de surface				
Eaux souterraines				
Cultures	112 (23,9)	117 (22,7)	6 (21,4)	0 (0,0)
Animaux	58 (18,9)			
Cultures	1 (24,4)	112 (24,2)		
Tiers	85 (0,3)			
Atmosphère	46 (7,4)	28 (10,7)		
Eaux de surface		---		
Eaux souterraines		---		
Sol cultivé	189 (6,1)	247 (12,8)	- 58 (18,2)	0 (0,0)
Tiers	116 (0,2)	97 (24,8)		
Atmosphère	46 (7,4)	70 (12,4)		
Eaux de surface		---		
Eaux souterraines		---		
Exploitation	162 (2,1)	166 (11,6)	165 (51,5)	- 146 (5,7)

Flux et bilans				
Exploitation 2				
Azote: kg N	Entrées	Sorties	Variation de stock	Ecart de fermeture
Cultures	116 (32,2)			
Sol cultivé		197 (19,1)		
Tiers	3 (1,1)	30 (15,2)		
Atmosphère		60 (28,5)		
Eaux de surface				
Eaux souterraines				
Animaux	119 (31,4)	287 (14,5)	197 (25,5)	- 366 (11,6)
Animaux		115 (30,5)		
Sol cultivé	149 (24,3)			
Tiers		31 (22,2)		
Atmosphère				
Eaux de surface				
Eaux souterraines				

Cultures	153 (24,1)	146 (24,4)	24 (24,5)	0 (0,0)
Animaux	197 (19,1)			
Cultures		149 (24,3)		
Tiers	129 (0,1)			
Atmosphère	38 (11,4)	68 (13,2)		
Eaux de surface		3 (24,5)		
Eaux souterraines		39 (10,1)		
Sol cultivé	268 (10,2)	259 (14,5)	106 (14,3)	0 (0,0)
Tiers	132 (0,1)	61 (13,5)		
Atmosphère	38 (11,4)	128 (15,1)		
Eaux de surface		3 (24,5)		
Eaux souterraines		39 (10,1)		
Exploitation	170 (2,5)	231 (9,3)	327 (15,9)	- 366 (11,7)

Flux et bilans				
Exploitation 3				
Azote: kg N	Entrées	Sorties	Variation de stock	Ecart de fermeture
Cultures	64 (56,6)			
Sol cultivé		184 (15,5)		
Tiers	519 (0,0)	259 (5,2)		
Atmosphère		1 394 (22,0)		
Eaux de surface				
Eaux souterraines				
Animaux	583 (6,2)	1 837 (16,8)	6 746 (19,1)	- 7 999 (0,4)
Animaux		64 (56,6)		
Sol cultivé	164 (29,3)			
Tiers		71 (42,3)		
Atmosphère				
Eaux de surface				
Eaux souterraines				
Cultures	164 (29,3)	135 (34,8)	29 (34,3)	0 (0,0)
Animaux	184 (15,5)			
Cultures		164 (29,3)		
Tiers	158 (0,3)			
Atmosphère	20 (20,2)	74 (9,5)		
Eaux de surface		20 (23,9)		
Eaux souterraines		104 (8,5)		
Sol cultivé	362 (8,0)	362 (13,7)	- 1 (???)	0 (0,0)
Tiers	678 (0,1)	330 (10,0)		
Atmosphère	20 (20,2)	1 468 (20,9)		
Eaux de surface		20 (23,9)		
Eaux souterraines		104 (8,5)		
Exploitation	698 (0,6)	1 922 (16,1)	6 774 (19,0)	- 7 999 (0,4)

