

# Flux et bilans de N et P à l'échelle parcellaire dans le système de polyculture - élevage en Agriculture biologique de Mirecourt (Vosges)

J.-L. Fiorelli, M. Godfroy, J.-M. Trommenschlager, D. Foissy, C. Thiery, X. Coquil

**Comment entretenir la fertilité des sols dans un système d'élevage laitier à très bas niveau d'intrants ? Un système de polyculture - élevage très autonome comportant des prairies permanentes a été mis en place à Mirecourt en 2004, selon le cahier des charges de l'Agriculture biologique.**

## RÉSUMÉ

L'expérimentation portant sur le système de polyculture-élevage de l'Inra de Mirecourt (Vosges) a permis de suivre, depuis 2004, 2 rotations culturales de 6 et 8 ans comportant 3 années de prairie, complétées par des cultures annuelles de céréales ou de méteil, chacune avec ou sans cultures de printemps. La fertilisation a été assurée par les effluents du troupeau laitier qui utilise également une importante sole de prairie permanente. Productions de biomasse et flux de N et P ont été évalués : ainsi, 18 placettes ont été analysées pour traduire la variété des situations parcellaires et permettent l'établissement de bilans N et P à l'échelle de la durée des rotations ou sur le moyen terme (prairies permanentes).

## SUMMARY

### **Field-level N and P fluxes and balances in an organic mixed cropping and livestock system in Mirecourt (Vosges)**

How can soil fertility be maintained in a dairy livestock system with very low input levels? This question was addressed using an experimental mixed cropping and livestock system that included permanent grasslands, which was established at the INRA centre in Mirecourt (Vosges region of France) in 2004. The system had very low input levels, and organic farming standards were followed. In the experiment, there were 2 crop rotations of 6 and 8 years. Grasslands were present for 3 years and were then supplemented by annual mixed or monocropped grains. Within each treatment, spring crops were either present or absent. Dairy cow manure was used as fertiliser; it is important to note that the livestock used a significant amount of hectareage under permanent grassland. Biomass production and N and P fluxes were subsequently assessed. Using the results from 18 experimental plots, we could examine the diverse plot treatment combinations and establish the N and P balances for the different rotations or over the intermediate term (permanent grasslands).

L'expérimentation-système mise en place sur l'installation expérimentale de l'unité INRA ASTER de Mirecourt est un dispositif mené à l'échelle du système de production agricole. **Deux systèmes de production, conduits selon le cahier des charges de l'Agriculture biologique et minimisant l'usage des intrants, sont testés depuis septembre 2004** sur les

238 ha du dispositif expérimental. Ils sont gérés en visant un degré croissant d'autonomie et la levée des difficultés pratiques qui se présentent, selon le principe de conception pas à pas (COQUIL *et al.*, 2011, 2014).

Sur la base d'une évaluation des potentialités des parcelles et en maximisant la surface cultivée pour favoriser la production d'aliments végétaux, 130 ha ont

## AUTEURS

INRA ASTER Mirecourt (Agro-Systèmes Territoires et Ressources), 662, av. L. Buffet, F-88500 Mirecourt ; Jean-Louis.Fiorelli@mirecourt.inra.fr

**MOTS CLÉS :** Agriculture biologique, arrière-effet, association végétale, autonomie, azote, bilan d'azote, bilan minéral, céréales, culture dérobée, expérimentation longue durée, fertilisation organique, fertilité du sol, légumineuse, phosphore, prairie, prairie permanente, production fourragère, rotation culturale, système d'exploitation, système fourrager, vache laitière, Vosges.

**KEY-WORDS :** Carryover effect, catch crop, cereals, crop succession, dairy cow, farming system, forage production, forage system, grassland, legume, long duration experiments, mineral balance, nitrogen, nitrogen balance, organic farming, organic fertilisation, permanent pasture, phosphorus, plant association, self-sufficiency, soil fertility, Vosges.

**RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE :** Fiorelli J.-L., Godfroy M., Trommenschlager J.-M., Foissy D., Thiery C., Coquil X. (2015) : "Flux et bilans de N et P à l'échelle parcellaire dans le système de polyculture - élevage en Agriculture biologique de Mirecourt (Vosges)", *Fourrages*, 224, 293-304.

toutefois été jugés « non cultivables » et sont donc restés en prairies permanentes. En revanche, 105 ha « cultivables » ont été affectés à des rotations culturales de 8 ans ou de 6 ans. Toutes les parcelles cultivées se trouvent donc dans le **système de polyculture - élevage** (SPCE), où elles sont associées à 55 ha de prairies permanentes. Le SPCE comporte un troupeau de 60 vaches laitières et les génisses de renouvellement, soit au total 100 à 110 UGB.

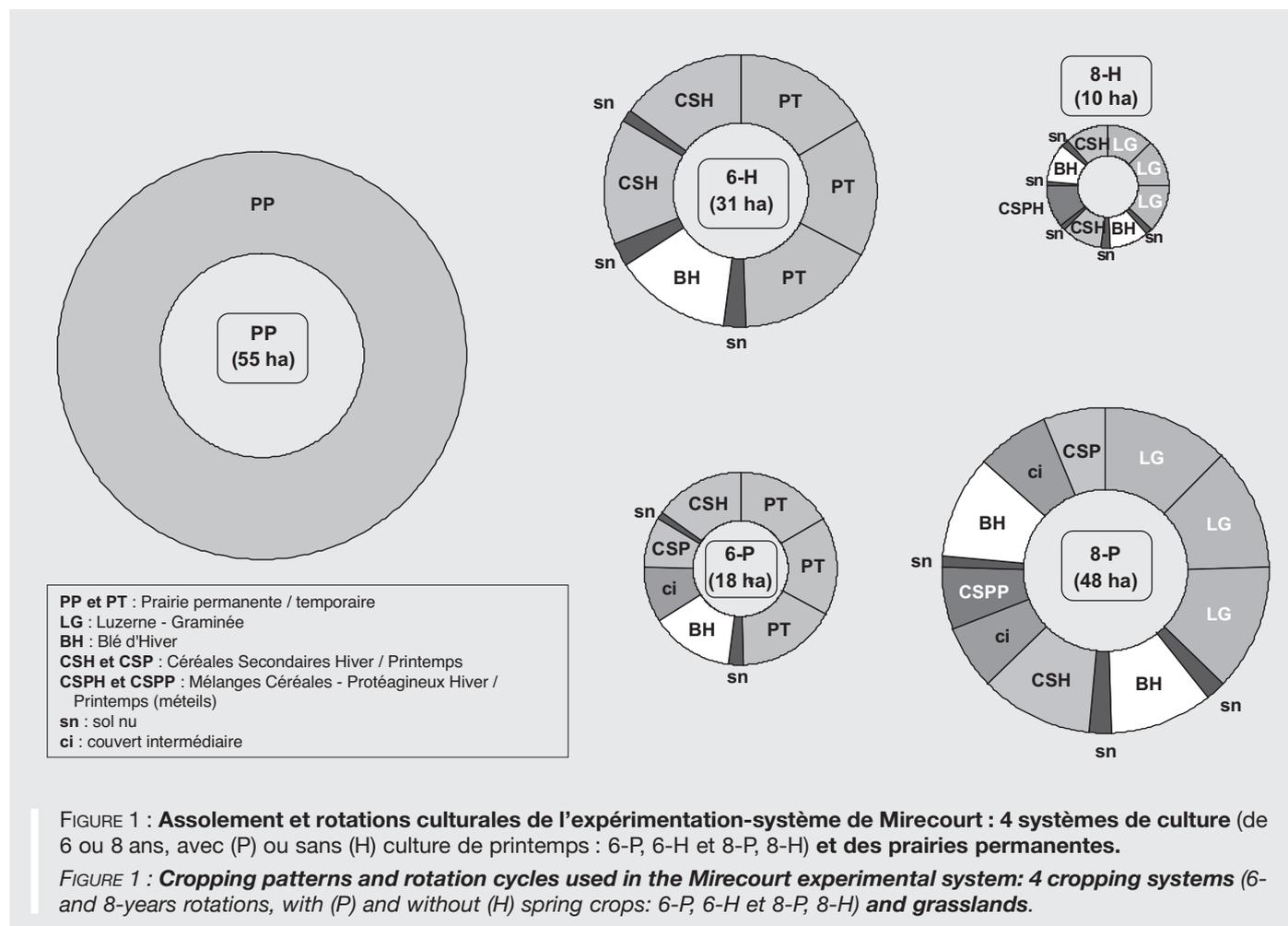
Nous proposons ici une première analyse des conséquences des pratiques mises en œuvre pour gérer la fertilité des sols au moyen de l'établissement des bilans minéraux azotés et phosphorés à la surface du sol (au sein des parcelles). Ceci fait suite à une analyse portant sur les incidences de la conversion à l'Agriculture biologique, en matière de gestion de l'azote notamment, par comparaison avec l'ancien système de polyculture - élevage qui a prévalu à Mirecourt jusqu'en 2003 (FOISSY *et al.*, 2004 ; BARATAUD *et al.*, 2015). Nos résultats portent ici sur un échantillon de 18 zones suivies (que nous appellerons placettes) représentant les principaux systèmes de culture et les prairies permanentes du SPCE, pour la période s'étendant de 2007 à 2014, soit quelques années après la conversion engagée en 2004.

## 1. Présentation du dispositif d'expérimentation - système

### ■ Le système de polyculture - élevage : Quatre systèmes de culture et des prairies permanentes

Le SPCE vise à **tirer parti de la complémentarité « cultures - élevage »** au moyen d'un troupeau bovin laitier à vêlages groupés en fin d'été-automne afin de produire du lait d'hiver et de printemps, ce qui permet de valoriser, en plus du pâturage, une diversité de fourrages et d'aliments, notamment par les vaches laitières. Ainsi, environ la moitié des céréales produites (en moyenne 740 q/an) vient compléter les différents foins (prairies permanentes et semées) constitutifs du régime alimentaire des vaches. De plus, la paille utilisée en litière provient exclusivement des céréales du SPCE : ce dernier en réclame d'autant plus (110 t/an) que le troupeau est logé environ 150 jours par an sur aire paillée.

Les **rotations culturales** (figure 1) comprennent **3 années de prairie semée suivies de 3 ou 5 années de céréales** (ou mélanges céréales - protéagineux) selon la



possibilité ou non de cultiver de la luzerne. Au sein de ces deux rotations de 6 et 8 ans, la **possibilité d'implanter ou non une culture de printemps** a conduit finalement à quatre successions fixes (6-H, 6-P d'une part et 8-H, 8-P d'autre part), mises en œuvre depuis la campagne 2005. L'assolement de la campagne 2012 (à titre d'exemple) comportait un tiers de prairies permanentes, un tiers de prairies semées et un tiers de cultures annuelles (17% de blé d'hiver et seigle, 14% de céréales fourragères et 4% de mélanges céréales - protéagineux).

La **fertilisation** des différentes cultures a été raisonnée en considérant les trois principales sources d'éléments minéraux que sont : i) les effluents d'élevage (fertilisation organique) ; ii) les légumineuses présentes dans les prairies permanentes et celles semées dans les prairies cultivées ou les mélanges céréales - protéagineux dans les rotations de 8 ans (fixation symbiotique) ; iii) les couverts intermédiaires installés lors des intercultures longues (engrais verts). D'autres pratiques concourent également à l'entretien de la fertilité des sols cultivés, à commencer par les modalités de travail du sol qui visent à limiter la fréquence et la profondeur des labours. S'y ajoute également la restitution directe des déjections par les bovins au pâturage dans les prairies et certains couverts intermédiaires. La visée d'autonomie se traduit par une tentative de bouclage des cycles des minéraux, tout en sachant que le système est ouvert puisqu'il exporte des produits agricoles (FIORELLI *et al.*, 2014).

## ■ Les données : un échantillon de placettes réparties dans les principaux systèmes de culture

Les données que nous avons rassemblées ici correspondent à un échantillon de **18 zones intraparcellaires** (parmi les 53 suivies dans le SPCE) **réparties dans les trois principaux systèmes de culture** (6 en 8P, 3 en 6P et 3 en 6H) **ainsi que dans les prairies permanentes** (au sein de 6 parcelles dont la moitié ont été utilisées quasi exclusivement pour le pâturage des vaches en lactation et les 3 autres récoltées ou pâturées par différentes catégories de bovins). Les zones suivies sont associées à des sols de profondeur faible (40 cm) à moyenne (jusqu'à 80 cm), sur substrat dolomitique (10 cas) ou marneux (8 cas). La texture de l'horizon superficiel des sols cultivés (0-25 cm) est argileuse (4 cas), limono-argileuse ou limoneuse (6 cas) voire limono-sableuse (2 cas) ; la teneur moyenne en matière organique, mesurée en 2006, 2010 et 2014, se situe à 3,2%. Dans les prairies permanentes, la texture de l'horizon superficiel (0-15 cm) est argileuse (3 cas) ou limono-argileuse (3 cas) et leur teneur moyenne en matière organique s'élève à 6,4%. Globalement, la teneur en argile moyenne de ce jeu de 18 zones se situe à 35%, la plus argileuse présentant une teneur de 55%.

Chaque campagne depuis 2007, ces placettes (900 m<sup>2</sup>) ont été le support de prélèvements et de notations visant à i) mesurer les **biomasses disponibles au moment des récoltes** (cultures et prairies) **ou du pâturage** (prairies et couverts intermédiaires) au moyen d'une motofaucheuse (sauf dans le cas des prairies pâturées par

d'autres animaux que les vaches en lactation), ii) disposer d'échantillons végétaux pour analyse de leur **composition chimique** (teneurs en minéraux) et floristique (prairies et couverts d'interculture) afin de relier ces biomasses aux flux d'éléments minéraux résultant des pratiques mises en œuvre. Ainsi, la **proportion de légumineuses** a été systématiquement déterminée pour chaque repousse depuis 2009, tant dans les prairies récoltées que dans les prairies pâturées (notations visuelles au pâturage, et poids sec relatif en récolte). Pour les campagnes antérieures, des valeurs ont été estimées par expertise. S'agissant des métaux ou des couverts intermédiaires, des mesures de leur composition spécifique ont également été réalisées. Par ailleurs, les **effluents d'élevage** ont été analysés lors de chaque campagne, au moment des épandages.

Nous avons extrait de la base de données ASTER-ix (TROMMENSCHLAGER *et al.*, 2010) tous les événements d'exploitation des parcelles où se trouvent les 18 zones de suivi et ayant du sens au regard des flux de minéraux (N et P) : l'épandage des effluents d'élevage, l'enfouissement des couverts intermédiaires (engrais verts) et les restitutions par les déjections des bovins au pâturage au titre des entrées d'éléments ; les récoltes des cultures et des prairies, le pâturage des prairies et éventuellement des intercultures, au titre des sorties d'éléments. Ces données ont ainsi permis de **reconstituer les entrées et sorties d'éléments minéraux N et P** à la surface du sol, par le biais des interventions agricoles, pour les zones suivies dans les parcelles concernées.

Pour compléter ces flux, deux autres entrées d'azote ont été quantifiées : les **dépôts atmosphériques** et la **fixation symbiotique par les légumineuses** présentes dans les couverts principaux ou intermédiaires. Les premières résultent des données modélisées par le programme EMEP<sup>1</sup>, à partir des coordonnées géographiques de la station de Mirecourt. Nous avons estimé la fixation symbiotique par les légumineuses, à graines ou fourragères, cultivées ou spontanées, en référence aux propositions rassemblées par VERTÈS *et al.* (2015). Ces estimations reposent sur l'hypothèse que, globalement, les sols que nous considérons sont plutôt pauvres en azote, et que la fixation symbiotique est donc particulièrement active pour alimenter en azote les couverts à légumineuses des parcelles du dispositif, notamment pour les prairies semées ou permanentes. La connaissance des proportions des composantes des métaux et des couverts d'interculture a également permis d'estimer une entrée d'azote symbiotique dans ces différents couverts.

Au pâturage, les restitutions d'azote (urinaire et fécal) et de phosphore (fécal) dans les déjections des bovins ont été estimées au moyen des recommandations adaptées aux types de bovins élevés (CORPEN, 1999 et 2001), en référence aux quantités de matière sèche qu'ils sont réputés avoir ingérées.

1 : EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) est le Programme européen de suivi et d'évaluation établi sous l'égide de la Convention sur la Pollution de l'Air à Longue distance (CLRTAP), en charge de la coopération internationale visant à régler les problèmes de pollution atmosphérique transfrontalière (<http://www.emep.int/>)

|                        | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | Moyenne<br>1998-2015 |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------------|
| <b>Hiver</b> (DJF)     | 147  | 209  | 165  | 139  | 179  | 137  | 260  | 203  | 136  | 181                  |
| <b>Printemps</b> (MAM) | 68   | -16  | 91   | -71  | -43  | -120 | -23  | 136  | -106 | -17                  |
| <b>Été</b> (JJA)       | -146 | 3    | -142 | -83  | -12  | 22   | -184 | -172 | -155 | -149                 |
| <b>Automne</b> (SON)   | 231  | 52   | 141  | 90   | 155  | 24   | 142  | 279  | 112  | 138                  |
| <b>Cumul</b>           | 300  | 248  | 255  | 75   | 279  | 63   | 195  | 446  | -13  | 153                  |

TABLEAU 1 : **Bilan hydrique apparent** (P-ETP, en mm) **saisonnier à Mirecourt** (données mesurées sur le site).

TABLE 1 : **Seasonal water balance** (Rainfall-ET, mm) **at Mirecourt** (data measured on site).

Le modèle simplifié qui nous permet de caractériser un **bilan minéral pour les placettes suivies**, pour l'azote ou le phosphore, est habituellement qualifié de « bilan sol - surface » (PEYRAUD *et al.*, 2012), et s'écrit de la manière suivante :

Bilan = Entrées - Sorties, soit

Bilan = (EngraisEp + EngraisVerts + DéjPât + DépAtm + FixSymb) - (ExportCult + ExportPrai + ExportInterc)

avec EngraisEp : engrais épandus (ici les effluents d'élevage) ; EngraisVerts : couverts intermédiaires, généralement enfouis ; DéjPât : déjections des animaux qui pâturent les prairies ou parfois les couverts intermédiaires ; DépAtm : déposition atmosphérique ; FixSymb : fixation symbiotique d'azote par les légumineuses présentes en prairies, en cultures (méteils) ou dans les couverts intermédiaires ; ExportCult, -Prai, -Interc : Biomasse récoltée ou pâturée en culture, prairie et parfois couvert intermédiaire.

La conduite selon le cahier des charges de l'Agriculture biologique, doublée de la finalité de forte autonomie en intrants, simplifie considérablement les termes de ce bilan mais, pour autant, le solde ne permet de présumer ni de l'origine, ni de la destinée d'un excédent ou d'un déficit apparent. Seules des hypothèses peuvent alors être émises quant aux processus en cause (et leurs moments d'occurrence). Ce serait alors le « bilan sol - système » qui permettrait de rassembler ces hypothèses. Par ailleurs, pour le phosphore, il n'existe bien entendu ni fixation symbiotique, ni déposition atmosphérique.

Les **campagnes culturales** retenues ici s'inscrivent à cheval sur deux années civiles (de 2006-2007 à 2013-2014). En effet, elles courent depuis le premier jour qui suit la récolte pour les cultures annuelles (généralement l'enlèvement de la paille, en été) jusqu'à la récolte suivante. Les couverts intermédiaires sont associés à la campagne de la culture principale qui les suit. Pour les prairies (permanentes ou semées), les campagnes courent depuis le premier jour qui suit la dernière exploitation (généralement un pâturage, à l'automne) jusqu'à la dernière exploitation de l'année qui suit : cette dernière a lieu le plus souvent en automne pour les prairies permanentes, mais l'été pour les prairies incluses dans les successions culturales qui précèdent l'installation d'une culture de blé d'hiver. Nous avons choisi de traiter les flux et les bilans d'éléments à l'échelle de la durée de la rotation complète (6 ou 8 ans) pour les placettes situées dans la sole cultivée, et pour une durée de 8 ans pour les placettes situées en prairie permanente.

Les **neuf années climatiques** concernées (2006 à 2014) ont été marquées par des précipitations annuelles à hauteur de 869 mm en valeur moyenne, mais néanmoins très contrastées, comprises entre 705 et 1 057 mm). Certaines campagnes culturales ont présenté un cumul très important (1 141 mm en 2006-2007) ou particulièrement bas (760 mm en 2011-2012). Les travaux culturaux et les récoltes ont pu être fortement perturbés par les excédents de précipitations et, à l'inverse, les prairies marquées par des déficits hydriques prononcés : en 9 ans, 6 années ont comporté au moins une saison sèche, le printemps ressortant comme la saison la plus fréquemment déficitaire. De surcroît, l'été s'est également montré assez fortement déficitaire, par exemple de 2012 à 2014 (tableau 1).

La température de l'air s'est établie en moyenne annuelle à 10°C pour les 9 années climatiques, avec des écarts notables à l'échelle annuelle ou saisonnière : 2014 ressort ainsi comme l'année la plus chaude depuis le début des enregistrements à Mirecourt (1967), mais avec un mois d'août proche du record de fraîcheur pour ce mois-là... Par ailleurs, la diminution du nombre de jours de gel n'a pas empêché la survenue d'un épisode très intense en février 2012 qui provoqua d'importantes destructions de végétation en céréales, mais également en luzerne et en prairie permanente.

## ■ Logiques d'épandage des effluents d'élevage sur les parcelles du SPCE

La stratégie de fertilisation sert une ambition principale : **capter de l'azote et du carbone pour entretenir (voire développer) la fertilité biologique des sols**. Au-delà, la première finalité de la fertilisation des parcelles cultivées consiste à **maintenir la production de blé et de seigle panifiables** qui constitue une exportation nette du système. La seconde finalité vise à **compenser l'exportation d'éléments minéraux des prairies permanentes récoltées**. Ainsi, les épandages d'effluents ont-ils visé prioritairement la seconde occurrence du blé dans les rotations de 8 ans et les prairies permanentes récoltées.

Au total, les **épandages d'effluents** sur les parcelles du SPCE (tableau 2) ont représenté environ 15 000 t de matières brutes à l'échelle des 8 campagnes considérées (2007-2014) soit en moyenne 1 875 t par campagne, incluant néanmoins de fortes variations interannuelles : 1 526 à 2 153 t, en relation notamment avec les conditions climatiques qui modulent la quantité d'eau captée par les installations non couvertes et limitent par ailleurs les

|              | Eaux vertes<br>et blanches | Fumier<br>de raclage | Fumier<br>de dépôt | Fumier<br>composté | Total         |
|--------------|----------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| 6H           | 1 698                      | 486                  | 375                | 40                 | 2 600         |
| 6P           | 582                        | 33                   | 0                  | 0                  | 614           |
| 8H           | 38                         | 146                  | 148                | 97                 | 429           |
| 8P           | 559                        | 643                  | 1 296              | 256                | 2 754         |
| PP           | 5 705                      | 1 913                | 492                | 454                | 8 564         |
| <b>Total</b> | <b>8 582</b>               | <b>3 221</b>         | <b>2 311</b>       | <b>848</b>         | <b>14 961</b> |

TABLEAU 2 : Effluents d'élevage épandus de 2007 à 2014 dans le SPCE de Mirecourt (t).

TABLE 2 : Amounts of livestock manure applied from 2007 to 2014 in the Mirecourt experimental system (t).

possibilités d'épandage. Pour simplifier, ils ont été regroupés en un produit liquide et trois types de fumiers.

Les « eaux vertes et blanches » rassemblent les eaux de lavage de la salle de traite et de ses annexes (aire d'attente, aires de transfert) et le purin des fumières qui représentent ensemble 57% du tonnage brut épandu (en moyenne un peu plus de 1 000 t par an), mais seulement 3% de la matière sèche, 8% de l'azote et 13% de la potasse épandus. Ces deux produits sont épandus tous les mois de l'année, avec deux pics en janvier et en septembre. Ils sont utilisés à 66% en prairies permanentes.

Les fumiers sont composés de fumier « de raclage » (fumier mou, pour 22% des tonnages bruts, 44% de la MS et 40% de l'azote épandus), de fumier de dépôt (fumier solide, pour 15% des tonnages bruts, 37% de la MS et 36% de l'azote épandus) et, très marginalement, de fumier composté (6% des tonnages bruts et 16% de la MS et de l'azote épandus). Ces produits sont utilisés principalement de juin à septembre (58% des épandages), mais en réalité de façon très contrastée pour les fumiers de raclage et de dépôt : ce dernier est pratiquement réservé (environ 80%) à la fertilisation des cultures, en août et septembre, à commencer par celle du blé de 7<sup>e</sup> année des rotations de 8 ans ; le fumier de raclage n'est utilisé que pour 40% sur les cultures (de juin à septembre), la plus grande part étant épandue sur les prairies permanentes (de novembre à février). Ainsi, la difficulté de stockage du fumier mou a conduit à l'épandre pour plus de la moitié sur des prairies, à l'instar des produits liquides, et au détriment de la surface cultivée.

## 2. La production de biomasse aérienne...

### ■ ... dans une sélection de parcelles cultivées du SPCE...

Dans les placettes en rotations de 6 ans, la production de **biomasse aérienne cumulée** à l'échelle de la rotation (2008-2013) s'est élevée en moyenne à **48,5±4,8 t MS/ha, soit environ 8 t MS/ha/an**. Les trois placettes en 6P ont montré une **biomasse cumulée supérieure** (environ +0,9 t MS/ha/an) à celle des placettes en 6H. Si le couvert intermédiaire des placettes 6P a permis de produire en moyenne 2,6±0,8 t MS/ha (3 occurrences), 61% de la biomasse totale comptabilisée (29,4±3,7 t MS/ha) provient des prairies temporaires qui ont donc fourni environ 10 t MS/ha/an : si on distingue les trois années successives, leurs productions moyennes se sont élevées respectivement à 9,8±3,3 t MS/ha/an en A1, 9,3±1,3 en A2 et 7,0±1,8 en A3 (tableau 3).

**Les céréales ont produit en moyenne 17,8±8,6 t MS de biomasse aérienne par hectare en 3 ans**, grains et paille cumulés, toutes espèces et variétés confondues, soit environ 6 t MS/ha/an (tableau 4). Parmi celles-ci, le blé d'hiver se révèle le plus productif avec en moyenne 3,9±0,8 t MS/ha/an de grain et 4,3±1,1 t MS/ha/an de paille alors que les céréales secondaires (seigle et triticales d'hiver ou de printemps confondus) n'ont produit que 2,5±1,3 t MS/ha/an de grain et 2,4±1,5 t MS/ha/an de paille. Parmi ces dernières, le triticales de printemps a tout de même produit 3,2±1,1 t MS/ha/an de grain, mais seulement 1,8±0,7 t MS/ha/an de paille, alors que les céréales secondaires d'hiver (seigle et triticales confondus) ont fourni moins de grain (2,2±1,3 t MS/ha/an) que de paille (2,6±1,7 t MS/ha/an).

On peut ajouter que les 3 placettes de la **rotation 6P** se sont révélées **plus productives en céréales** (grains et paille confondus) que celles de la rotation 6H : cet écart est plus marqué pour les céréales secondaires (3,4±2,2 vs 1,5±0,9 t MS/ha/an) que pour le blé (4,5±0,2 vs 3,3±0,6 t MS/ha/an), mais avec une variabilité associée beaucoup plus forte. En revanche, **la production moyenne des prairies temporaires a été plus élevée et moins variable dans la rotation 6H** : 7,5±3,0 pour 6H vs 6,4±3,3 t MS/ha/an pour 6P.

| Rotation* | Prairie*    | Année du semis (A0) | Année 1 | Année 2 | Année 3 | Moyenne sur 3 ans |
|-----------|-------------|---------------------|---------|---------|---------|-------------------|
| 6H - 6P   | PT          | -                   | 11,4    | 10,9    | 7,0     | 9,8               |
|           |             |                     | 6       | 6       | 6       | 6                 |
|           |             |                     | 3       | 3       | 3       | 6                 |
| 8P        | Luz sans A0 | -                   | 8,0     | 11,9    | 10,6    | 10,2              |
|           |             |                     | 2       | 4       | 4       | 2 - 4             |
|           |             |                     | 2       | 3       | 3       | 5                 |
| 8P        | Luz avec A0 | 4,0                 | 7,9     | 8,7     | 2,4     | 7,6               |
|           |             | 3                   | 2       | 2       | 2       | 2 - 3             |
|           |             | 2                   | 1       | 1       | 1       | 5                 |

\* Rotations : 6H, 6P : 6 ans avec cultures d'hiver seulement (6H) ou avec cultures d'hiver et de printemps (6P) ; 8P : 8 ans avec cultures d'hiver et de printemps. Prairies : PT : prairie temporaire (sans luzerne) ; Luz avec A0, Luz sans A0 : prairie à base de luzerne, utilisée ou non l'année du semis

TABLEAU 3 : Production des prairies semées dans les rotations de 6 et 8 ans à Mirecourt (t MS/ha/an).

TABLE 3 : Ley production for 6- and 8-year rotations at Mirecourt (t DM/ha/year).

| Rotation*    | 6H  | 6P  | 6H-6P            | 6P  | 6P  | 8P      | 8P               | 8P  | 8P  | 8P   | 8P   | 8P  |
|--------------|-----|-----|------------------|-----|-----|---------|------------------|-----|-----|------|------|-----|
| Culture*     | Blé | Blé | CSH              | CSP | CI  | Blé-Luz | Blé-Mét          | CSH | CSP | Mét2 | Mét4 | CI  |
| Grain        | 3,3 | 4,5 | 2,2              | 3,2 | -   | 2,7     | 1,7              | 2,1 | 1,9 | 1,6  | 3,5  | -   |
| Paille       | 3,4 | 5,1 | 2,6              | 1,8 | -   | 3,5     | 2,1              | 1,8 | 1,6 | 1,4  | 2,5  | -   |
| Total        | 6,7 | 9,7 | 4,8              | 5,0 | 2,6 | 6,2     | 3,8              | 3,9 | 3,5 | 3,0  | 6,1  | 1,5 |
| Nb placettes | 3   | 3   | 9                | 3   | 3   | 6       | 6                | 4   | 8   | 3    | 3    | 12  |
| Nb campagnes | 2   | 1   | 4 <sup>(1)</sup> | 1   | 1   | 4       | 4 <sup>(2)</sup> | 3   | 4   | 2    | 2    | 6   |

1 : dont 5 placettes en 2012    2 : dont 2 placettes en 2012.

\* **6H, 6P** : rotations de 6 ans avec cultures d'hiver seulement (6H) ou avec cultures d'hiver et de printemps (6P) ;

**6H-6P** : rotations de 6 ans (6H et 6P réunies) ; **8P** : Rotations de 8 ans avec cultures d'hiver et de printemps ;

**CSH, CSP** : céréale secondaire d'hiver, de printemps ; **CI** : couvert intermédiaire ;

**Blé-Luz** : blé après luzerne ; **Blé-Mét** : blé après méteil ; **Mét2, Mét4** : méteil à 2, 4 composantes

TABLEAU 4 : **Production des cultures dans les rotations de 6 et 8 ans à Mirecourt** (t MS/ha/an).

TABLE 4 : **Crop production for 6- and 8-year rotations at Mirecourt** (t DM/ha/year).

Dans les placettes de la rotation de 8 ans, la production de **biomasse aérienne cumulée** à l'échelle de la rotation (2007-2014) s'est élevée à **55,8±11,1 t MS/ha, soit environ 7,0 t MS/ha/an**. Si les couverts intermédiaires ont permis de produire en moyenne 1,5±0,8 t MS/ha/an (12 cas), **les prairies à base de luzerne ont fourni en moyenne 31,1±7,8 t MS/ha, soit environ 54% de la biomasse totale** pour une durée de présence de seulement 38% dans la rotation (3 années sur 8). Ces mélanges ont été productifs durant 3 ou 4 campagnes puisque, dans la moitié des placettes, il a été possible de valoriser une forte production de luzerne dès l'année d'installation, à hauteur de 4,0±1,8 t MS/ha grâce à un semis sous le couvert de la céréale précédente (tableau 3). Lors des campagnes suivantes (mais dans seulement deux placettes localisées dans une même parcelle), la production de biomasse aérienne s'est établie aux valeurs suivantes : 7,9±4,2 t MS/ha/an en A1, 8,7±6,7 en A2 et seulement 2,4±1,2 en A3 (campagne 2012 marquée par un gel intense). Les autres placettes, qui ont donné lieu à des semis d'été sans exploitation l'année A0 (3 ou 4 cas), présentent des valeurs de biomasse annuelle valorisée supérieures aux précédentes, à savoir : 8,0±1,3 t MS/ha/an en A1, 11,9±3,2 en A2 et 10,6±3,0 en A3. Ainsi, il semble possible d'espérer valoriser de 20 à 30 t MS/ha en trois campagnes, le semis sous couvert permettant même d'escompter une production de plusieurs tonnes dès l'année du semis.

Dans cette rotation longue, **les céréales ont produit en moyenne 17,9±2,7 t MS de biomasse aérienne par hectare en 4 ans**, grains et paille cumulés, toutes espèces et variétés confondues, soit en moyenne 4,5 t MS/ha/an. Parmi ces cultures (tableau 4), le blé d'hiver a produit en moyenne 2,2±0,9 t MS/ha/an de grain et 2,8±1,3 t MS/ha/an de paille. Mais **le blé de luzerne a fourni 1 t MS de grain et 1,4 t MS de paille supplémentaires que le blé de méteil**, ceci en dépit de l'épandage d'effluents d'élevage et d'un couvert intermédiaire en précédent du méteil, soit : 2,7±1,0 vs 1,7±0,5 t MS/ha pour le grain, et 3,5±1,1 vs 2,1±1,1 t MS/ha pour la paille. Par ailleurs, les céréales secondaires (orge d'hiver, triticale d'hiver et de printemps, et même blé de printemps en 2014) ont produit en moyenne 2,1±1,1 t MS/ha/an de grain et 2,2±1,3 t MS/ha/an de paille, avec assez peu de différence entre les céréales d'hiver et celles de printemps, tant en termes de production

moyenne que de variabilité. Le méteil a toujours été cultivé pour être récolté en grain et paille, au moyen d'associations d'une céréale (avoine ou triticale) et d'un protéagineux (pois ou féverole) jusqu'en 2010, puis ultérieurement sous la forme d'un mélange de ces deux céréales et ces deux protéagineux, dans tous les cas en semis de printemps. **Le méteil à 4 composantes a alors fourni deux fois plus de biomasse que celui à 2 composantes** (6,1±1,0 vs 3,0±2,0 t MS/ha) avec de surcroît une moindre variabilité. De plus, il semble que le mélange à 4 composantes profite davantage à la production de grain (3,5±0,8 vs 1,6±1,4 t MS/ha) qu'à la production de paille (2,5±0,4 vs 1,4±0,7 t MS/ha), cette dernière s'en trouvant néanmoins augmentée de plus de 1 t MS/ha.

### ■ ... et dans une sélection de prairies permanentes

Les prairies permanentes sélectionnées présentent une **diversité de modes d'exploitation** en relation avec leurs aptitudes et leur localisation géographique. Ainsi, trois parcelles font partie intégrante du parcellaire accessible aux vaches laitières depuis la salle de traite. La conduite du pâturage de 2007 à 2014 les a quasiment réservées au pâturage, à l'exception d'une parcelle qui a donné lieu à une et deux récoltes de foin, respectivement en 2011 et 2007. Les trois autres parcelles ne sont pas accessibles aux vaches laitières et présentent donc des modes d'exploitation combinant la récolte et le pâturage de génisses pour deux d'entre elles, et le pâturage quasi exclusif de génisses gestantes pour la troisième, même si une récolte est intervenue en 2009 et 2010.

**La production annuelle moyenne des parcelles accessibles aux vaches en lactation s'est élevée à 7,4±2,2 t MS/ha/an tandis que celle des parcelles non accessibles a été estimée à 9,3±2,7 t MS/ha/an**. A noter qu'une des parcelles à génisses (systématiquement récoltée une fois chaque année) s'est montrée deux fois plus productive que la moins productive des parcelles à vaches laitières, avec respectivement 12,5±0,8 et 6,0±1,4 t MS/ha. Un tel écart résulte principalement du faible nombre de cas considérés ici : en effet, il suffit d'avoir retenu une prairie peu productive accessible aux vaches en lactation d'une part, et une autre historiquement très productive et toujours récoltée en première

|                   | 6H*       | 6P        | 6H-6P     | 8P         | PP-VL*     | PP-nVL     | PP          |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|-------------|
| <b>Entrées N*</b> |           |           |           |            |            |            |             |
| - N-dep           | ←         | 12,5      | →         | ←          | 12,6       | →          |             |
| - N-fert          | 16 ± 13   | 1 ± 1     | 9 ± 12    | 42 ± 13    | 9 ± 14     | 78 ± 13    | 44 ± 37     |
| - N-ex            | 46 ± 17   | 50 ± 11   | 48 ± 13   | 3 ± 4      | 140 ± 44   | 81 ± 28    | 110 ± 27    |
| - N-fix           | 55 ± 7    | 73 ± 9    | 64 ± 12   | 82 ± 23    | 66 ± 35    | 52 ± 7     | 59 ± 25     |
| Bilan N           | -26 ± 31  | -9 ± 25   | -18 ± 27  | 22 ± 13    | 51 ± 16    | 14 ± 65    | 32 ± 47     |
| <b>Entrées P*</b> |           |           |           |            |            |            |             |
| - P-fert          | 9,4 ± 8,1 | 0,7 ± 0,6 | 5,1 ± 7,0 | 19,4 ± 5,2 | 4,3 ± 6,8  | 45,5 ± 5,4 | 24,9 ± 23,3 |
| - P-ex            | 3,4 ± 1,3 | 3,5 ± 1,0 | 3,4 ± 1,0 | 0,2 ± 0,2  | 10,2 ± 3,1 | 6,0 ± 2,1  | 8,1 ± 3,3   |
| Bilan P           | -14 ± 8   | -11 ± 10  | -18 ± 2   | -1 ± 7     | 4 ± 17     | -9 ± 9     | 17 ± 13     |

\* **6H, 6P** : rotations de 6 ans avec cultures d'hiver seulement (6H) ou avec cultures d'hiver et de printemps (6P) ;  
**6H-6P** : toutes rotations de 6 ans ; **8P** : rotations de 8 ans avec cultures d'hiver et de printemps ;  
**PP-VL, PP-nVL** : prairies permanentes accessibles (PP-VL) et non accessibles aux VL (PP-nVL) ;  
**PP** : toutes prairies permanentes  
**N-dep** : déposition atmosphérique ; **N-fert, P-fert** : effluents épandus ;  
**N-ex, P-ex** : excréation au pâturage ; **N-fix** : fixation symbiotique

TABLEAU 5 : Entrées et bilans N et P des placettes en rotations ou dans les prairies permanentes : moyennes annuelles et variabilité inter-placettes (kg N/ha/an et kg P/ha/an).

TABLE 5 : *N and P inputs and balances of the experimental plots in the crop rotations and permanent pastures (annual means and variability, kg N/ha/year and kg P/ha/year).*

coupe avant d'être affectée aux petites génisses d'autre part pour que leur écart de productivité (du simple au double en valeur moyenne sur 8 ans) retentisse directement sur les termes de la comparaison. Si on regroupe les parcelles-années selon les deux modes d'exploitation principaux (pâturage exclusif et fauche - pâturage), le premier groupe montre une valorisation de  $7,4 \pm 1,9$  t MS/ha/an et le second de  $9,7 \pm 2,9$  t MS/ha/an, soit une différence de 2,5 t MS/ha. Parmi les 28 parcelles-années constituant le premier groupe, 22 concernent les trois parcelles accessibles aux vaches en lactation (79%) et celles du second groupe (19) concernent essentiellement des parcelles non accessibles aux vaches laitières (90%). Pour autant, la part du pâturage dans la production estimée de ces dernières parcelles est forte, puisqu'elle en représente la moitié ( $4,8 \pm 2,4$  t MS/ha), associée à une très forte variabilité, à la différence de la part des récoltes.

### 3. Les bilans minéraux du SPCE

#### ■ Entrées d'azote et de phosphore

En prenant en considération tous les éléments à notre disposition en termes de pratiques mises en œuvre et de conditions du milieu (récoltes, pâturage, apports de matières organiques, nature des couverts et proportion de légumineuses, déposition atmosphérique...), nous avons établi les entrées d'azote et de phosphore à l'échelle des rotations. Le tableau 5 récapitule les principaux termes du bilan (entrées et balances) en valeur moyenne annuelle.

**Dans les parcelles en rotation de 6 ans**, les principales entrées d'azote sont constituées de la fertilisation (épandages et déjections) et de la fixation symbiotique, loin devant la déposition atmosphérique (75 kg N/ha, soit en moyenne 12,5 kg N/ha/an) :

- A hauteur d'un total d'entrées de 775 kg N/ha dans les **parcelles 6H** : la **fertilisation** correspond à un apport de 368 kg N/ha en 6 ans (47% des entrées), dont 95 kg par épandage et 273 kg par l'**excrétion des ani-**

**maux au pâturage**, tandis que la fixation symbiotique aurait permis de capter 328 kg N/ha soit 43% des entrées.

- A hauteur d'un total d'entrées de 822 kg N/ha dans les **parcelles 6P** : la **fixation symbiotique** aurait permis de capter ici 417 kg N/ha, soit 53% des entrées, alors que la fertilisation correspond à l'apport de 311 kg N/ha en 6 ans (38% des entrées), essentiellement par les **déjections liées au pâturage** (303 kg N), la complémentation servie aux animaux ayant été prise en compte.

Dans ce type de rotation, ce sont donc principalement les prairies qui contribuent aux entrées d'azote (relayées par les animaux qui les valorisent au pâturage), tandis que les épandages d'effluents restent limités. Les entrées associées aux couverts intermédiaires sont anecdotiques.

Les principales entrées de phosphore sont de deux types : la fertilisation apportée au moyen des effluents d'élevage et les déjections des animaux au pâturage.

Deux des trois placettes 6H ayant bénéficié d'une fertilisation sous forme d'effluents, elles ont donc également reçu un apport de phosphore, en moyenne à hauteur de 56 kg P/ha en 6 ans, qui vient devancer, dans ces deux situations, les restitutions opérées directement par les animaux au pâturage. Ces dernières constituent l'essentiel des apports de phosphore des 4 placettes non fertilisées (85%), à hauteur de 21 kg P/ha en 6 ans.

**Dans les parcelles en rotation de 8 ans**, les entrées d'azote sont beaucoup plus conséquentes que dans les parcelles en rotation de 6 ans du fait de la **plus grande présence des légumineuses** (prairies à base de luzerne, méteils et couverts d'interculture). La fixation symbiotique a fourni en moyenne 58% des  $1\,125 \pm 148$  kg N/ha, répartis de façon très irrégulière durant la rotation. L'essentiel de l'azote fixé provient des prairies à base de luzerne, en moyenne à hauteur de  $170 \pm 80$  kg N/ha/an en années 1, 2 ou 3. Les méteils fournissent un complément d'azote symbiotique de  $110 \pm 82$  kg N/ha/an, la variabilité étant accrue en relation avec l'échec de l'implantation des protéagineux (pois et féverole) au printemps 2011, particulièrement déficitaire en précipitations en avril et mai.

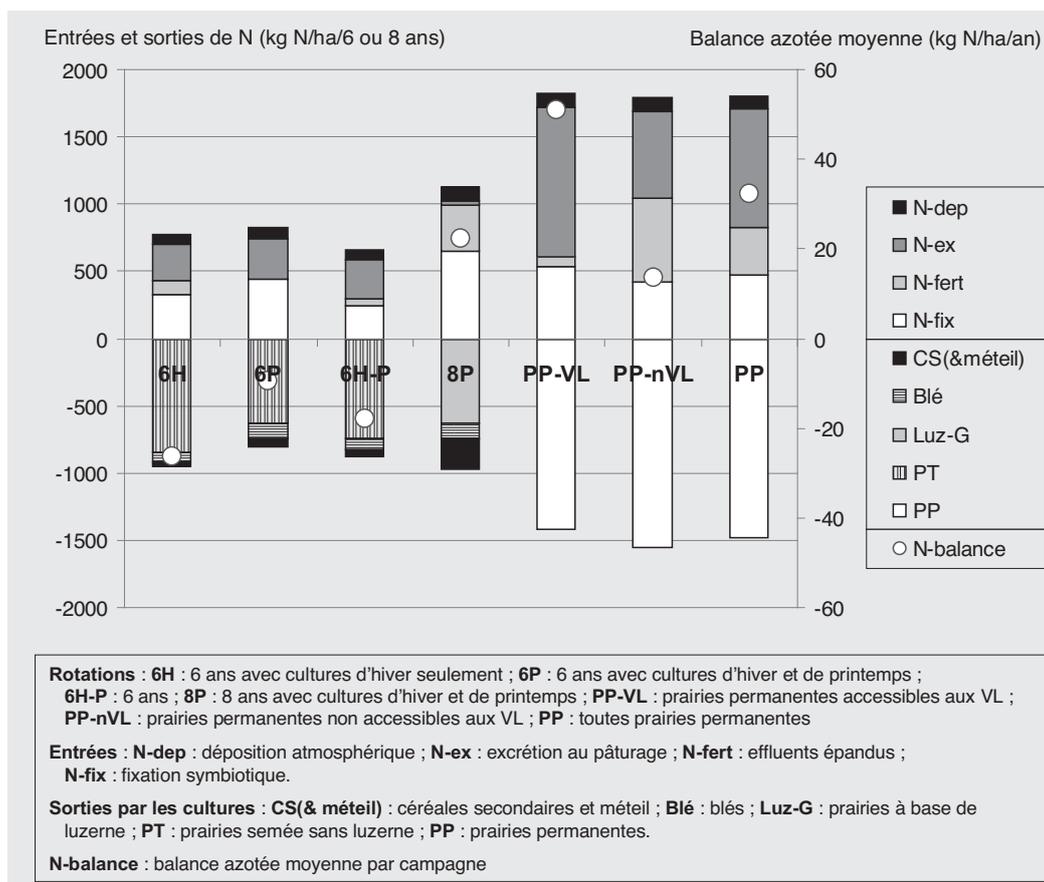


FIGURE 2 : Entrées, sorties et balances azotées à la surface du sol pour les systèmes de culture et les prairies permanentes de Mirecourt.

FIGURE 2 : Soil surface inputs, outputs, and N balances of the cropping systems and grasslands at Mirecourt.

Les épandages d'effluents ont également été plus nombreux que dans les placettes en rotation de 6 ans mais le **recyclage par les déjections beaucoup plus limité, les prairies à base de luzerne ayant été globalement très peu pâturées**. Ainsi, les épandages n'ont représenté en moyenne que 31% des entrées totales d'azote, à hauteur de  $337 \pm 106$  kg N/ha en 8 ans. Les restitutions par le pâturage n'ont concerné que 4 des 6 placettes et ne représentent guère que  $41 \pm 28$  kg N/ha à l'échelle de la rotation. Les dépositions atmosphériques totalisent moins de 10% des entrées d'azote.

Les entrées de phosphore sont les mêmes que dans le cas précédent, avec là aussi des restitutions très faibles par les déjections. L'essentiel des entrées de phosphore provient des épandages d'effluents, à hauteur de  $155 \pm 41$  kg P/ha pour la durée de la rotation.

**Dans les prairies permanentes**, les entrées d'azote ont procédé de la déposition atmosphérique, de la fertilisation au moyen des effluents d'élevage, de la fixation symbiotique des légumineuses (trèfle blanc principalement) mais aussi et surtout des restitutions directes par les animaux au pâturage. Ainsi, les déjections animales ont contribué à un apport moyen de  $137 \pm 40$  kg N/ha/an dans les parcelles-années exclusivement pâturées, mais de seulement la moitié ( $69 \pm 30$  kg N/ha/an) dans celles fauchées et pâturées. La fixation symbiotique fournirait pratiquement autant d'azote dans ces deux types de mode d'exploitation, avec en moyenne  $59 \pm 31$  kg N/ha/an, tandis que les effluents épandus ont tout de même représenté  $30 \pm 36$  et  $77 \pm 52$  kg N/ha/an, respectivement dans les prairies exclusivement pâturées et dans celles récoltées et

pâturées. La variabilité de ces apports correspond à des apports nuls ou très faibles certaines campagnes, sous forme d'eaux vertes et blanches par exemple. En réalité, les deux placettes exclusivement pâturées n'ont reçu aucun apport d'effluent, tandis que les deux le plus souvent récoltées (et pâturées) ont bénéficié de l'épandage de  $75 \pm 33$  kg N/ha/an.

Les entrées de phosphore vont procéder de ces apports d'effluents et de la fréquence du pâturage qui va permettre d'en recycler une proportion non négligeable. Les quatre parcelles fertilisées avec des effluents ont bénéficié d'un apport moyen de  $298 \pm 138$  kg P/ha à l'échelle de la rotation tandis que les autres n'ont rien reçu. Cet apport moyen représente  $37 \pm 23$  kg P/ha/an, avec une très forte variabilité traduisant les années sans apport. Les déjections au pâturage représentent en moyenne  $65 \pm 8$  kg P/ha pour la rotation et l'ensemble des 6 placettes. Les parcelles-années exclusivement pâturées bénéficient du recyclage de  $10 \pm 3$  kg P/ha/an.

### ■ Les bilans N et P pour les parcelles de la sole cultivée et les prairies permanentes du SPCE

Les entrées d'azote et de phosphore que nous venons de détailler couvrent-elles les sorties de ces minéraux résultant des exportations associées aux productions présentées? La figure 2 récapitule les flux d'azote et la balance qui en résulte pour les placettes des deux types de rotations et des prairies permanentes, en détaillant de surcroît les placettes des deux rotations de 6 ans et les

deux modes d'exploitation des prairies permanentes (avec et sans pâturage par les vaches laitières).

### • Bilans N

Dans la **rotation de 6 ans**, les balances azotées moyennes des 6 placettes varient de -59 à +20 kg/ha/an. Quatre de ces balances sont équilibrées (faiblement négatives ou positives) traduisant la faiblesse ou l'absence des apports d'effluents au regard de la production de biomasse par les prairies temporaires, dont le pâturage permet néanmoins de recycler une forte proportion de l'azote fixé par les légumineuses. Toutefois, l'absence d'apport d'effluent sur une des parcelles 6H au cours de la période considérée (2008-2013) fait fléchir la balance moyenne pour cette rotation, alors même qu'un apport de fumier avait eu lieu lors d'une campagne antérieure.

Dans la **rotation de 8 ans**, les balances azotées moyennes s'établissent entre +5 et +33 kg/ha/an : les prairies à base de luzerne contribuent fortement aux entrées d'azote mais elles sont principalement récoltées et ne contribuent donc à enrichir le milieu qu'au moyen de leur système racinaire, à la différence des prairies temporaires pâturées des rotations de 6 ans. Les placettes les plus abondamment fertilisées présentent les balances moyennes les plus élevées (environ 30 kg/ha/an) sans toutefois correspondre aux placettes à forte production de luzerne : deux des trois plus fortes productions de luzerne ont même été obtenues dans des placettes à balance équilibrée, l'une d'elles ayant de surcroît été bien fertilisée. L'autre, la moins fertilisée de toutes, présente une balance équilibrée dans laquelle les entrées d'azote par le méteil,

tout en étant les plus élevées des 6 placettes, restent trois fois plus faibles que celles de la luzerne. Cette placette témoigne de la possibilité de conjuguer des flux importants avec une balance équilibrée.

Dans les **prairies permanentes** observées durant 8 campagnes successives, les balances azotées moyennes présentent des écarts considérables entre placettes (-50 à +79 kg/ha/an) et, dans 4 cas, des valeurs supérieures à 40 kg/ha. Ces 4 prairies sont les plus utilisées en pâturage, par les vaches laitières pour les trois premières et par les génisses pour la dernière. Une seule prairie montre une valeur faible et positive, tandis que la prairie la plus productive témoigne d'une balance assez fortement négative malgré des apports d'effluents non négligeables.

Ces résultats traduisent **globalement des balances azotées moyennes équilibrées** (-25 à +30 kg N/ha/an) dans les placettes des rotations culturales hormis une placette (6H). En prairies permanentes, les balances sont plutôt plus élevées (40 à 80 kg N/ha/an) dans 4 parcelles sur 6 à la faveur des restitutions animales parfois complétées par des épandages d'effluents. Une seule parcelle paraît équilibrée tandis que la dernière exprime une production de biomasse très importante dans le prolongement de sa forte productivité « historique » que les épandages d'effluents réguliers ne parviennent pas à compenser (balance à -50 kg N/ha/an).

### • Bilans P

De la même façon que précédemment, la figure 3 récapitule les flux de phosphore et la balance qui en résulte pour les placettes des deux types de rotations et

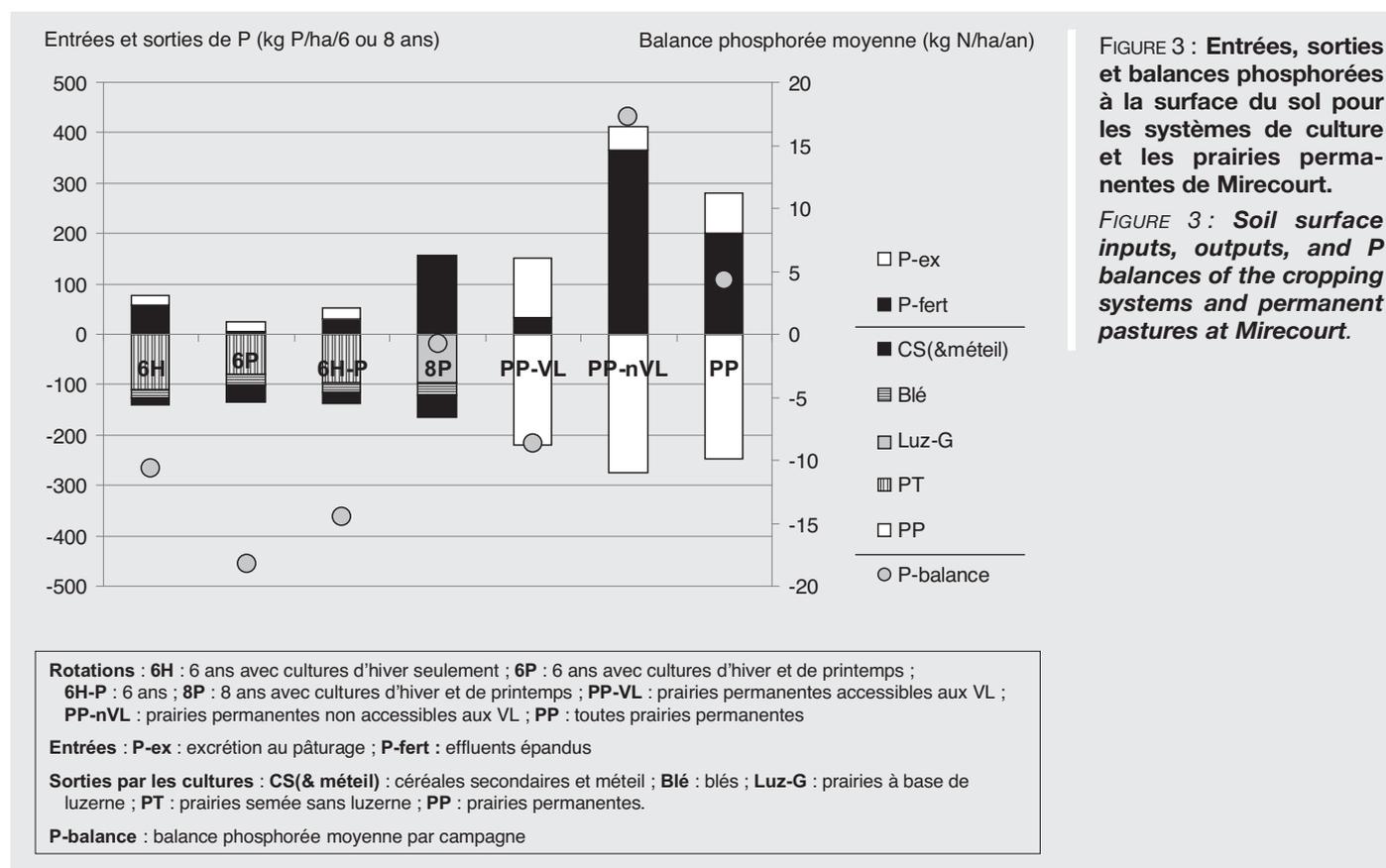


FIGURE 3 : Entrées, sorties et balances phosphorées à la surface du sol pour les systèmes de culture et les prairies permanentes de Mirecourt.

FIGURE 3 : Soil surface inputs, outputs, and P balances of the cropping systems and permanent pastures at Mirecourt.

des prairies permanentes, tout en détaillant les placettes des deux rotations de 6 ans et les deux modes d'exploitation des prairies permanentes.

**Dans la rotation de 6 ans**, les **balances phosphorées moyennes** apparaissent **négatives** dans toutes les placettes. Les deux placettes qui ont bénéficié d'épandage d'effluents apparaissent en équilibre, les quatre autres oscillant à -20 kg P/ha/an.

**Dans la rotation de 8 ans**, les **balances phosphorées moyennes** apparaissent **globalement équilibrées**, la plus déficitaire d'entre elles se situant à -12 kg P/ha/an.

**Dans les prairies permanentes** observées durant 8 campagnes successives, les **balances phosphorées moyennes** sont **beaucoup plus variées** : si trois placettes sont pratiquement à l'équilibre (l'une d'elle étant en réalité très faiblement négative), deux autres sont excédentaires à la faveur des épandages d'effluents dont elles ont bénéficié tandis que la dernière paraît plutôt déficitaire à -17 kg P/ha/an. Les deux parcelles à balance négative sont précisément les deux seules à n'avoir été que pâturées, et n'ont donc reçu aucun effluent depuis la conversion en 2004.

Dans les placettes en rotation de 6 ans, l'**évolution de la teneur en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>** (Joret-Hebert) **de l'horizon superficiel** du sol (0-25 cm) entre 2006 et 2014 est en accord avec les balances phosphorées que nous avons calculées, les placettes 6P présentant une chute beaucoup plus marquée (de l'ordre de 33%) que les placettes 6H (de l'ordre de 20%). Dans les placettes en rotations de 8 ans, la chute moyenne de la teneur en phosphore du sol (de l'ordre de 21%) ne montre pas de gros écarts entre placettes, mais le bilan moyen calculé apparaissait « équilibré ». Quant aux prairies permanentes, elles présentent de fortes disparités d'évolution de la teneur en phosphore dans l'horizon superficiel (0-15 cm) : la plus forte chute (58%) concerne l'une des parcelles les moins pourvues en 2006 et la seconde plus forte chute (24%), une autre parcelle également pâturée par les vaches laitières, moyennement pourvue en 2006. La troisième prairie de ce sous-groupe est restée relativement bien pourvue. Les trois prairies (non accessibles aux vaches en lactation mais récoltées et donc fertilisées) présentent elles aussi une remarquable stabilité de leur teneur en phosphore, en accord avec la valeur positive du bilan que nous avons établi : elles présentaient pourtant des teneurs en phosphore très différentes en 2006 (de 0,058 à 0,315 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/kg, méthode Joret-Hebert).

## Discussion

La production mesurée à l'échelle des placettes suivies depuis 2006 tend à surestimer les biomasses au regard de celles qui peuvent être récoltées ou pâturées à l'échelle des parcelles, notamment dans le cas des prairies. En effet, le soin apporté aux prélèvements y réduit fortement les pertes survenant généralement à l'échelle agricole. Ce biais est bien connu et nous conforte dans la *distingo* à opérer entre les deux niveaux de bilans

minéraux qui peuvent être établis, au niveau de la placette d'une part, de la parcelle et de l'exploitation comme parcellaire agrégé d'autre part. Le niveau de la placette, retenu ici, permet de valoriser les données analytiques dont nous disposons, mais **il serait hasardeux d'extrapoler à l'échelle des parcelles** du fait notamment de l'hétérogénéité intraparcellaire des sols.

Outre le fait qu'elles ne concernent que trois situations chacune, les biomasses moyennes comptabilisées sur les placettes des deux rotations de 6 ans ne portent ici que sur 6 campagnes qui laissent donc de côté les campagnes 2007 et 2014, prises en considération pour la rotation de 8 ans et pour les prairies permanentes. Ces campagnes ont toutes deux été marquées par un automne très pluvieux mais des conditions ultérieures très différentes, également pluvieuses au printemps 2007 mais déficitaires en 2014 : il en résulte donc une **moindre exposition de la rotation de 6 ans à la variabilité climatique** présente dans les parcelles de la rotation de 8 ans ou les prairies permanentes.

Une analyse plus complète de ces données, et notamment de leur variabilité, appelle une prise en compte plus précise des circonstances ayant présidé aux conditions d'installation des cultures et d'exploitation des prairies : une telle analyse réclamerait de revenir sur la singularité des contextes pédoclimatiques de chacune des 53 placettes réparties dans le SPCE.

Quelques placettes sont localisées dans une même parcelle (2 placettes 6P et 2 placettes 8P) mais sur des sols différents : cette particularité réduit de fait la variété des inscriptions temporelles des rotations concernées dans le petit échantillon de placettes que nous avons étudié.

Malgré cela, la variabilité des biomasses produites apparaît très prononcée, pour les prairies temporaires comme pour celles à base de luzerne. Cet aspect devrait se trouver amélioré par la prise en considération de l'ensemble des placettes du SPCE, dont l'analyse pourrait alors reposer sur des fréquences et des distributions plutôt que sur une approche « moyenne/écart type ». Pour mémoire, la campagne 2012 (gel intense) ou les implantations très difficiles de céréales les automnes 2006 et 2013 ou le printemps très sec de 2011 sont diversement représentés dans les valeurs moyennes calculées, mais elles les ont nécessairement très fortement impactées.

Il faut également mentionner que **les mélanges à base de luzerne ont connu des compositions assez différentes**, puisque tout d'abord uniquement constitués d'associations luzerne - dactyle, ils ont été ensuite diversifiés au moyen de ray-grass, de fétuque et parfois même de brome à compter des semis de la campagne 2010. Dans le même ordre d'idées, le blé a donné lieu à des mélanges de variétés associant des blés modernes et des blés « populations », dont les caractéristiques de production sont très différentes : rapport grain/paille beaucoup plus faible des blés populations, valeurs nutritionnelles très décalées, rusticités...

Le **passé culturel des parcelles** cultivées (prairies permanentes ou culture), mais aussi les pratiques de

fertilisation des années qui précèdent les premières campagnes que nous avons retenues (2007 et 2008) auraient mérité d'être considérés pour resituer les évaluations à moyen ou long terme auxquelles nous nous sommes risqués. Dans le même ordre d'idées, la comptabilisation des effluents d'élevage pour la seule campagne de leur épandage revient à en négliger les arrière-effets et la valorisation sur plusieurs cultures successives. Par ailleurs, les modalités d'épandage ne prennent pas en considération les pertes par volatilisation qui peuvent survenir avant même que les éléments concernés pénètrent le sol, ce qui conduit à surestimer les apports d'azote par cette voie.

Comme VERTÈS *et al.* (2010) l'ont indiqué, **les relations entre les bilans à la surface du sol et les transferts hydriques des deux éléments sont très différentes** : lessivage de nitrates et ruissellement superficiel pour le phosphore. Si le rôle des prairies vis-à-vis de la qualité de l'eau résulte de leur position dans le paysage et des pratiques dont elles sont le support, il dépend fortement de leur pérennité et, pour les prairies semées au sein des rotations culturales, des modalités de leur destruction. En cela, il est rassurant de constater que la pression apparente des prairies des rotations de 6 ans est relativement faible ; cependant, celles des rotations de 8 ans (à base de luzerne) font courir un risque fort à la ressource en eau, dès lors qu'elles sont susceptibles de relarguer de fortes quantités de minéraux en été-automne. Quant aux prairies permanentes, leur pérennité préserve d'autant mieux les ressources en eau que, sauf exception, leur chargement reste relativement modéré (300 à 500 journées de pâturage UGB/ha).

Enfin, ces bilans minéraux présenteraient davantage d'intérêt encore si on les rapprochait des **bilans humiques**, notamment pour mieux comprendre les relations entre l'azote et le carbone dans les conditions si particulières de gestion de la fertilité. Ils pourraient alors être rapprochés des analyses de sol dont nous disposons et qui encadrent la période considérée ici, à l'instar de ce que nous avons esquissé pour l'évolution des teneurs en phosphore du sol.

## Conclusion

La nature même des effluents d'élevage disponibles, compte tenu des installations et des pratiques mises en œuvre, ainsi que la stratégie de fertilisation privilégiant la production de blé panifiable et les prairies permanentes récoltées se traduisent finalement par une relative pénurie d'azote dans les rotations de 6 ans de ce système biologique, la part dominante du pâturage (et les restitutions immédiates des animaux) dans la valorisation des prairies semées venant pourtant limiter l'ampleur de cette pénurie. Dans ces rotations, les légumineuses représentent à peine la moitié des entrées d'azote au lieu de 60% dans les rotations de 8 ans qui comportent des méteils et des couverts intermédiaires à légumineuses en plus des prairies à base de luzerne. Pour le phosphore, la rotation de 6 ans (qui comporte une forte proportion de prairies

pâturées) et les prairies permanentes principalement pâturées sont globalement déficitaires avec pour corollaire la nécessité de compenser ces exportations, la rotation de 8 ans montrant elle aussi une érosion assez homogène des teneurs en phosphore de l'horizon superficiel de 2006 à 2014.

D'ores et déjà des réflexions et quelques essais sont conduits en termes d'alternatives à ces rotations, mais aussi de transformation des installations d'élevage qui permettraient à la fois de réduire le volume d'eaux vertes et blanches à épandre et de mieux valoriser le fumier de raclage. Deux autres pistes de réflexion sont également à l'étude : un meilleur contrôle des émissions gazeuses du bâtiment au stockage et à l'épandage des effluents, pour conserver davantage d'azote dans le système ; l'intégration de ressources ligneuses en substitution partielle à la paille nécessaire pour la litière des animaux en période hivernale, pour davantage diversifier les successions culturales en direction de produits végétaux pour l'alimentation humaine tout en réduisant la surface en céréales et trouver peut-être de nouveaux équilibres dans la gestion de la fertilité du milieu.

Intervention présentée aux Journées de l'A.F.P.F.,  
"La fertilité des sols dans les systèmes fourragers",  
les 8 et 9 avril 2015

**Remerciements** à E. Fombaron, C. Thierry, J.P. Aubry, C. Bazard, C. Cuny, S. Ditsch, L. Echampard, J.L. Giquel, M. Harmand, B. Ladaïque, R. Lavé et G. L'Huillier, D. Marcolet, C. Py, T. Rajoie, G. Rouyer et R. Thierry pour leur participation active. Travail réalisé avec le concours financier de l'UE via le projet collaboratif FP7-KBBE.2011.1.4-06 « Crops and ANimals TOGETHER ».

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BARATAUD F., FOISSY D., FIORELLI J.L., BEAUDOIN N., BILLEN G. (2015) : "Conversion of a conventional to an organic mixed dairy farming system: consequences in terms of N fluxes", *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39, 978-1002.
- COQUIL X., FIORELLI J.L., BLOUET A., TROMMENSCHLAGER J.M., BAZARD C., MIGNOLET C. (2011) : "Conception de systèmes de polyculture - élevage laitiers en Agriculture biologique : Synthèse de la démarche pas à pas centrée sur le dispositif expérimental INRA ASTER-Mirecourt", *Renc. Rech. Rumin.*, 18, 57-60.
- COQUIL X., FIORELLI J.L., BLOUET A., MIGNOLET C. (2014) : "Experiencing organic mixed crop dairy systems: a step-by-step design centred on a long term experiment", S. Bellon, S. Penven (eds), *Organic Farming, Prototype for sustainable agricultures*, Springer, 201-220.
- CORPEN (1999) : *Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux vaches laitières et à leur système fourrager*, Corpen.
- CORPEN (2001) : *Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux bovins allaitants et aux bovins en croissance, issus des troupeaux allaitants et laitiers, et à leur système fourrager*, Corpen.

- FIGURELLI J.L., COQUIL X., TROMMENSCHLAGER J.M., FOISSY D., GODFROY M., BLOUET A. (2014) : "L'autonomie des systèmes herbagers et de polyculture - élevage laitiers en AB de Mirecourt : une quantification au moyen de l'indicateur de durabilité PAEP", *Renc. Rech. Rumin.*, 21, 105-108.
- FOISSY D., REVEST C., BLOUET A. (2004) : "Démarche d'utilisation des engrais de ferme à l'échelle de l'exploitation agricole", *Fourrages*, 180, 563-567.
- PEYRAUD J.L., CELLIER P., DONNARS C., AARTS F., BELINE F., BOCKSTALLER C., BOURBLANC M., DELABY L., DOURMAD J.Y., DUPRAZ P., FAVERDIN P., FIGURELLI J.L., GAIGNE C., KUIKMAN P., LANGLAIS L., LE GOFFE L., MORVAN T., NICOURT C., PARNAUDEAU V., RECHAUCHÈRE O., ROCHETTE P., VERTÈS F., VEYSSET P. (2012) : "Les flux d'azote en élevage de ruminants", *Renc. Rech. Rumin.*, 19, 41-48.
- TROMMENSCHLAGER J.M., GAUJOUR E., FONTANA E., HARMAND M., FOISSY D., HUGUET J., BAZARD C. (2010) : "Gérer et organiser les données agricoles et de recherche d'un site expérimental. Réalisation d'une base de données pour l'expérimentation-système en place sur l'installation expérimentale de l'unité ASTER Mirecourt", *Cah. Techn. INRA*, 69, 5-27.
- VERTÈS F., BENOÎT M., DORIOZ J.-M. (2010) : "Couverts herbacés pérennes et enjeux environnementaux (en particulier eutrophisation) : atouts et limites", *Fourrages*, 202, 83-94.
- VERTÈS F., JEFFROY M.H., LOUARN G., VOISIN A.S., JUSTES E. (2015) : "Légumineuses et prairies temporaires : des fournitures d'azote pour les rotations", *Fourrages, La fertilité des sols dans les systèmes fourragers (I)*, 223, 221-232.



Association Française pour la Production Fourragère

---

La revue *Fourrages*

est éditée par l'Association Française pour la Production Fourragère

**[www.afpf-asso.org](http://www.afpf-asso.org)**



AFPF – Centre Inra – Bât 9 – RD 10 – 78026 Versailles Cedex – France

Tél. : +33.01.30.21.99.59 – Fax : +33.01.30.83.34.49 – Mail : [afpf.versailles@gmail.com](mailto:afpf.versailles@gmail.com)

Association Française pour la Production Fourragère