

# En prairie, la balance azotée à l'échelle de la parcelle

A. Farruggia<sup>1</sup>, M.L. Decau<sup>2</sup>,  
F. Vertès<sup>3</sup>, L. Delaby<sup>4</sup>

**L'établissement d'une balance azotée en prairie permet d'obtenir dans la plupart des situations une bonne évaluation de l'excédent d'azote non utilisé par les plantes, excédent qui comprend les pertes par lessivage et ruissellement. Cette approche présente un intérêt en tant qu'outil pédagogique, outil de pilotage du système prairial ou indicateur de risque pour l'environnement.**

## RÉSUMÉ

*La balance azotée annuelle en prairie s'établit par différence entre les entrées (fertilisation, concentrés et fourrages complémentaires, fixation symbiotique et dépôts atmosphériques) et les exportations (produits animaux et déjections hors parcelle) du système Parcelle-Animal, ce qui évite d'évaluer les prélèvements et les restitutions animales. L'excédent de la balance regroupe les pertes gazeuses, les pertes par lessivage et ruissellement, la variation du stock d'azote minéral et organique et les diverses erreurs d'appréciation. La balance a été appliquée dans différentes situations de l'ouest de la France, ce qui permet de préciser les ordres de grandeur des différents postes selon les modes d'exploitation et les sites. La relation entre l'excédent de balance et le lessivage est discutée, ainsi que l'intérêt de la méthode.*

## MOTS CLÉS

Azote, bilan d'azote, fertilisation azotée, lessivage, mode d'exploitation, pâturage, prairie, système de production.

## KEY-WORDS

Grazing, leaching, management, nitrogen, nitrogen balance, nitrogen fertilization, pasture, production system.

## AUTEURS

- 1 : Institut de l'Élevage, 149 rue de Bercy, F-75595 Paris.
- 2 : I.N.R.A.-L.A.P.B.V., Université, Esplanade de la Paix, F-14032 Caen cedex.
- 3 : I.N.R.A. Agronomie Rennes-Quimper, 2 rue Stang Vihan, F-29000 Quimper.
- 4 : I.N.R.A., Station de Recherche sur la Vache Laitière, F-35590 Saint-Gilles.

**L**e concept de balance peut être appliqué à toutes sortes de systèmes de taille et de complexité variables. Ce concept est utilisé à plusieurs échelles de temps et d'espace. Nous nous intéresserons dans cet article à la balance azotée établie à l'échelle d'une prairie. Une telle balance permet en effet d'obtenir une bonne évaluation de l'excédent d'azote non utilisé par la plante. Nous discuterons des diverses formes que prend la balance selon le mode d'exploitation des prairies ainsi que des résultats de son application dans l'ouest de la France.

L'un des objectifs de la démarche est de disposer d'un outil permettant d'optimiser l'équilibre entre offre et demande pour limiter le gaspillage et les pertes en éléments minéraux.

## Les principes généraux

Le principe du bilan repose sur la comptabilité de toutes les entrées et sorties du système étudié. Le système en lui-même est considéré comme une boîte noire et les flux internes sont ignorés. La différence entre les entrées et les sorties constitue un excédent ou un déficit d'azote pour le système considéré.

Au sens comptable ou commercial, un bilan doit être équilibré. Le solde figurant au bilan est enregistré en terme d'actif ou de passif, de façon à parvenir à l'équilibre. Certains auteurs (BENOÎT, 1992) ont préféré utiliser **le concept de balance**. Le résultat de la balance peut être positif ou négatif : c'est alors un excédent ou un déficit. A titre de comparaison, on parle fréquemment d'excédent ou de déficit de la balance commerciale. On emploiera ici le principe de balance plutôt que celui de bilan et, dans la suite, on utilisera le terme de balance pour qualifier l'opération globale et celui d'excédent pour le solde du bilan.

A titre d'exemple, à l'échelle de la région Bretagne, l'excédent de la balance s'établit à 50 kg N/ha/an en moyenne en 1995. A l'échelle des exploitations laitières de l'Ouest, il est de 200 à 250 kg N/ha/an pour les systèmes conventionnels (SIMON *et al.*, 1994). On voit à quel point les résultats sont dépendants du système étudié. Il est donc primordial de définir les objets et les objectifs de l'étude (SÉBILLÔTE, 1992) :

- définir le système auquel la balance s'applique, c'est l'échelle d'espace,
- définir la période à laquelle la balance s'applique, c'est l'échelle de temps,
- identifier tous les flux d'entrée et de sortie du système,
- être conscient du risque que l'on prend en donnant une signification physique au solde. En effet, on peut sur ou sous-estimer ce dernier en lui faisant supporter l'ensemble des erreurs commises sur les différents postes qui ont permis de le calculer.

Dans cet article nous nous limiterons à **la balance annuelle d'azote en parcelle de prairie**. Les flux d'azote entrants et sortants

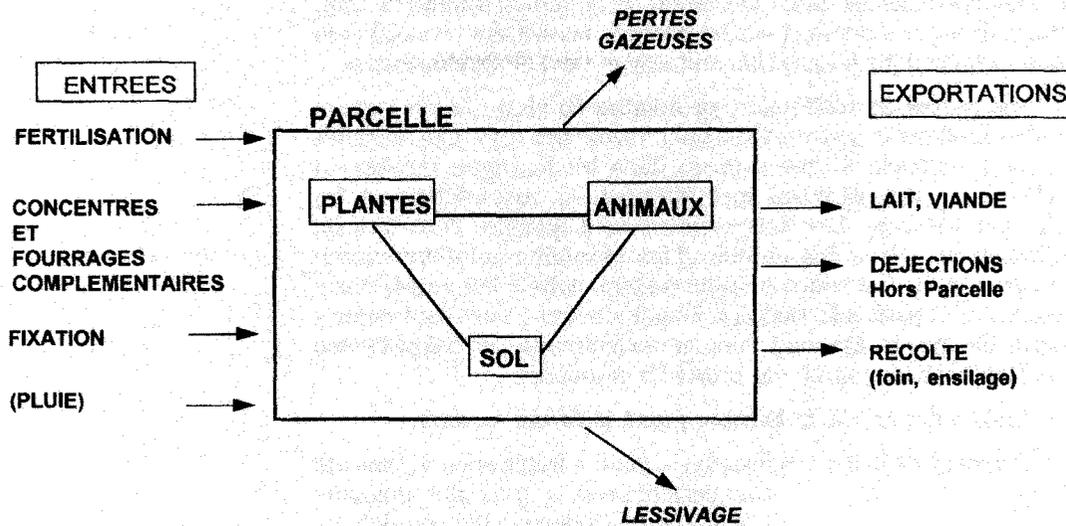


FIGURE 1 : Postes d'entrées et de sorties du système "prairie pâturée".

FIGURE 1 : The different inputs and outputs in the "grazed pasture" system.

peuvent être mesurés ou estimés à cette échelle d'espace et de temps. Il s'agit de la fertilisation et de la production animale durant la saison de végétation, et des pertes par lessivage durant l'automne-hiver suivant, les enregistrements de pratiques étant réalisés par l'exploitant sur l'unité d'exploitation qu'est la parcelle.

Un même excédent de balance peut ne pas signifier les mêmes risques pour l'environnement selon le climat, le type de sol et le système de culture. L'intérêt de cette étude est d'**estimer dans quelle mesure un excédent de balance peut être utilisé comme indicateur de risques pour l'environnement, et quelles précautions prendre lorsque l'on souhaite comparer une grande variété de contextes pédoclimatiques et cultureux.**

## Balance azotée en parcelle de prairie

### 1. Présentation des différentes formes de balance

La figure 1 rappelle les trois grands compartiments du **système Sol - Plante - Animal** et les différents postes d'entrée et de sortie.

Pour le cas général, on distingue **quatre postes d'entrée** : la fertilisation (minérale et organique), les concentrés et fourrages complémentaires, la fixation symbiotique lorsqu'il y a des légumineuses, et les apports atmosphériques. En station expérimentale, les variables d'entrée sont généralement mesurées avec une bonne précision, à l'exception de la fixation symbiotique. Quand les données sont collectées auprès des agriculteurs, il est souvent plus délicat d'avoir une bonne

précision, par exemple sur l'affectation de quantités d'aliments complémentaires par parcelle et sur les données permettant de calculer la fixation symbiotique (production annuelle et taux de légumineuses).

**Les postes de sortie sont au nombre de cinq** : l'azote exporté dans les produits animaux (N valorisé), l'azote des déjections tombant hors de la parcelle, l'azote contenu dans les fourrages récoltés en fauche, les pertes gazeuses (dénitrification et volatilisation) et les pertes par lessivage. Les trois premiers sont qualifiés dans le texte d'exportations. Les seules variables bien connues en stations expérimentales sont le plus souvent l'azote contenu dans le lait, l'azote récolté en fauche et parfois le lessivage. Tous les autres postes sont estimés à partir de calculs. On aura donc en mémoire que les balances que nous établirons fourniront des ordres de grandeurs.

Dans notre article, **la balance prend la forme** suivante :

Excédent de balance = (fixation + pluie + fertilisation + aliments complémentaires) - (produits animaux + N déjections hors parcelle + récolte) (1)

**L'excédent de balance correspond alors au cumul des quatre termes suivants** :

- les pertes gazeuses,
- les pertes par lessivage ou ruissellement,
- la variation du stock d'azote du système lui-même dans le sol (organisation ou minéralisation),
- enfin, les erreurs d'appréciation des différents termes.

Cet excédent de balance correspond aux mêmes affectations de l'azote (lessivage, pertes gazeuses, variation du stock d'azote dans le sol et erreurs d'appréciation) que celui de la balance proposée par l'I.N.R.A. de Mirecourt (BENOIT, 1992). Cette dernière est une balance réalisée au niveau du sol qui s'exprime de la façon suivante :

Excédent de balance = fertilisation + fixation + restitutions par les animaux - prélèvements par les animaux - récolte

**L'intérêt de la balance au niveau de la parcelle** présentée dans cet article apparaît alors : **on évite ainsi l'estimation très difficile des postes de prélèvements et de restitutions par les animaux et on améliore grandement la fiabilité du calcul.**

## 2. Méthodes d'estimation des termes de la balance

**La fertilisation** : dans les situations où il y a apport de fertilisation ou d'amendements organiques, on considère l'azote total apporté.

**La fixation** : des calculs de la fixation sont proposés dans le cadre de peuplements associés ray-grass x trèfle blanc. Pour estimer convenablement la fixation, il faut disposer de deux mesures fiables :

la biomasse annuelle produite par la prairie et le taux moyen de trèfle blanc. Dans la pratique, il est recommandé de réaliser plusieurs estimations du taux de trèfle par comptages statistiques au cours de la saison. S'il n'est possible d'en réaliser qu'un par an il faudra choisir la repousse de fin juin - début juillet, lorsque le taux de trèfle est maximal avant l'entrée des animaux dans la parcelle (VERTES et SIMON, 1991). La mesure du taux de trèfle (TB%) est soit pondérale, soit réalisée visuellement par un opérateur "bien calé" qui fera le passage entre taux visuel et taux pondéral de trèfle. Par définition, les quantités moyennes d'azote foliaire fixées (en kg/ha/an) correspondent au produit de la biomasse du trèfle (en kg MS/ha) par sa teneur en azote (%NTB) et par son taux de fixation (VERTES *et al.*, 1995). Plus concrètement, on retiendra la méthode suivante pour calculer la fixation annuelle d'azote (VERTES *et al.*, 1996) :

$$N_{\text{fixé}} = \text{Biomasse} \times \text{TB\%} \times \% \text{NTB} \times \% \text{fixation} \quad (\text{a})$$

En l'absence de mesures directes, on prend 0,035 comme teneur en azote du trèfle, et 0,9 comme taux de fixation moyen du trèfle.

A titre indicatif, le tableau 1 récapitule les valeurs de  $N_{\text{fixé}}$  calculées avec la méthode ci-dessus pour des valeurs de Biomasse et de TB% variables.

**L'azote exporté dans la viande** (en kg/ha/an) : si l'on dispose des données sur la croissance des animaux pendant leur temps de séjour on peut calculer l'azote exporté (kg/ha/an) en appliquant le calcul suivant où 0,024 représente des kg d'azote par tonne de gain de poids :

$$N_{\text{export viande}} = \text{Gain de poids vif} \times 0,024 \quad (\text{b})$$

Lorsque l'on ne dispose pas des gains de poids vif, on peut au préalable les estimer à l'aide du temps de séjour des animaux (JP : jours de pâturage/ha/an) et du Gain Moyen Quotidien (GMQ) par type d'animal donné par la bibliographie :

$$\text{Gain de poids vif} = \text{JP} \times \text{GMQ théorique} \quad (\text{c})$$

**L'azote exporté dans le lait** (en kg/ha/an) : il faut disposer de la mesure de la production laitière (en l/ha/an) pour la parcelle considérée. On applique l'équation suivante où 1,03 correspond à la densité du lait et 0,0051 à la teneur du lait en azote (en kg N/kg lait ; DELABY *et al.*, 1997, ce même ouvrage) :

$$N_{\text{export lait}} = \text{Volume lait produit} \times 1,03 \times 0,0051 \quad (\text{d})$$

**Les déjections hors parcelle** concernent exclusivement les vaches laitières qui quittent la parcelle deux fois par jour à l'occasion des traites ou qui restent en stabulation la nuit. Par simplification, on

TABLEAU 1 : Azote fixé (kg N/ha/an) pour un peuplement de ray-grass anglais x trèfle blanc selon le taux de trèfle et le niveau de production du peuplement.

TABLE 1 : Nitrogen fixation (kg N/ha/year) in a perennial ryegrass / white clover sward according to proportion of clover and to level of herbage yield.

| Taux de trèfle blanc (%)   | 15 | 30 | 45  | 60  | 75  |
|----------------------------|----|----|-----|-----|-----|
| Production (t MS/ha) : - 4 | 20 | 40 | 55  | 75  | 95  |
| - 6                        | 30 | 55 | 85  | 115 | 140 |
| - 8                        | 40 | 75 | 115 | 150 | 190 |
| - 10                       | 45 | 95 | 140 | 190 | 235 |

considère l'émission de déjections régulièrement répartie sur la journée et la partie hors parcelle est évaluée au *pro rata* du temps passé hors parcelle (celui-ci dépend de la distance de la parcelle à la salle de traite et du temps de séjour à la traite). Il doit être évalué pour chaque ferme ou parcelle.

La prédiction simplifiée des quantités totales d'azote (en kg N/ha/an) des déjections (urine et fèces) des vaches laitières sur prairies pâturées (entre 400 et 1 000 journées de pâturage par hectare) est proposée par DELABY *et al.* (1997, ce même ouvrage) à l'issue des expérimentations conduites au Pin-au-Haras, étoffées de travaux bibliographiques (DEENEN, 1994 ; BUSSINK, 1994). Elle nécessite de connaître le nombre de jours de pâturage réalisés (JP/ha/an) et le temps de séjour hors parcelle pendant ces journées de pâturage :

$$N \text{ rejets totaux} = -138 + 0,72 \times \text{JP/ha/an} \quad (e)$$

(n=27, R<sup>2</sup>=0,95, Syx=23,7)

$$N \text{ hors parcelle} = N \text{ rejets totaux} \times$$

$$[\text{temps séjour hors parcelle} / (\text{JP/ha/an})]$$

### 3. Les formes simplifiées de la balance selon l'exploitation des parcelles

Dans le cas de parcelles de graminées fauchées toute l'année, l'équation (1) se réduit aux termes suivants :

$$\text{Excédent de balance} = (\text{fertilisation} + \text{pluie}) - \text{récolte} \quad (2)$$

Dans le cas de parcelles d'association intégralement pâturées par des bovins en croissance sans apports d'aliments complémentaires, elle prend la forme :

$$\text{Excédent de balance} = (\text{fertilisation} + \text{fixation} + \text{pluie})$$

$$- (\text{produits viande}) \quad (3)$$

Dans le contexte de parcelles en association sans fertilisation, le terme fertilisation disparaît, etc.

## Etablissement de la balance azotée sur des parcelles de prairie de l'Ouest

Les **sept sites expérimentaux** concernés sont gérés par différents organismes (INRA, Institut de l'Élevage, ITCF, Chambres d'Agriculture). Ils présentent une gamme variée de types de sols, de climats, de lames drainantes et de potentialités (tableau 2). Les mesures prises en compte ont été réalisées sur 3 à 5 ans selon les sites. Les traitements appliqués dans ces sites sont présentés en annexe.

Le lessivage est estimé sur chacun des sites soit à partir de bougies poreuses et du calcul du drainage (A), soit à partir de profils d'azote à la tarière et des calculs de lessivage avec le modèle de Burns ou

TABLEAU 2 : Localisation et caractéristiques principales des sites utilisés pour établir des balances azotées.

TABLE 2 : Location and main characteristics of the sites chosen for the assessment of N balances.

| Site et (département) | Années                           | Sol                                       | Profondeur de sol (cm) | Drainage (mm/an) | Estimation lessivage* |
|-----------------------|----------------------------------|---|------------------------|------------------|-----------------------|
| Trévarex (29)         | 1990-1994                        | limon argilo-sableux sur schistes         | 70-80                  | 570              | B                     |
| Kerlaviac (29)        | 1991-1994                        | limon sableux sur argile                  | 50-60                  | 500              | A                     |
| Kerbernez (29)        | 1991-1993                        | sol brun sur granite                      | 60-80                  | 600              | C                     |
| Scaër (29)            | 1992-1994                        | limons sur altérites de schistes          | 60-80                  | 540              | D                     |
| Crecom (22)           | 1995-1996 (VL)<br>1993-1996 (VA) | sablo-limoneux sur granite                | 60                     | 500              | B                     |
| Le Pin (61)           | 1992-1994                        | limono-argileux sur argile                | >80                    | 270              | A                     |
| La Jaillièrre (44)    | 1992-1994                        | limono-argileux sur altérites de schistes | 60-70                  | 160              | D                     |

\* méthodes d'estimation du lessivage (cf. texte) :  
A : bougies poreuses, B : profils N à la tarière, C : lysimètres, D : parcelles drainées

LXIM (MARY, 1996) (B), soit avec des lysimètres (C), ou enfin en parcelles drainées (D). Sur ces différents essais, il n'y a eu ni mesure ni estimation des pertes gazeuses.

## 1. Ordres de grandeur des postes de la balance selon le mode d'exploitation et le site

Dans les situations testées, le poste "pluie" a été considéré comme négligeable car en moyenne inférieur à 10 kg N/ha/an, ce qui n'est pas le cas de toutes les situations françaises. Le tableau 3 récapitule les données concernant tous les traitements étudiés sous la forme des moyennes de valeurs pour les années enregistrées.

**Le niveau global des entrées dépend des objectifs de production animale et des choix qui en découlent, modulés par les potentialités pédoclimatiques.** En couvert à dominante de graminées, la fertilisation peut couvrir une large gamme (de 0 à 500 kg N/ha/an) alors que les apports par la fixation en couvert d'association s'établissent en moyenne sur plusieurs années à des valeurs intermédiaires, de l'ordre de 50 à 120 kg N/ha/an.

Lorsque l'exploitation est réalisée en fauche ou en pâture par des bovins viande, il n'y a pas d'entrée d'azote supplémentaire. C'est en revanche le cas presque systématiquement en production laitière. Les entrées par l'alimentation complémentaire des vaches laitières varient du simple au double selon le niveau de production du troupeau et du peuplement végétal "pilote" par la fertilisation. En effet, dans le cas du pâturage des vaches laitières, la fertilisation permet une augmentation du nombre de jours de pâturage réalisés et donc l'entrée de compléments alimentaires.

| Site         | Traitement | Entrées       |          |          | Exportations |      |        |            | Balance N<br>excédent | Lessivage |     |
|--------------|------------|---------------|----------|----------|--------------|------|--------|------------|-----------------------|-----------|-----|
|              |            | fertilisation | fixation | aliments | récolte      | lait | viande | déjec. hp* |                       | (kg N/ha) | (%) |
| La Jaillière | J1         | 200           | 0        | 0        | 160          | 0    | 0      | 0          | 40                    | 4         | 10  |
|              | J2         | 215           | 0        | 0        | 0            | 0    | 26     | 0          | 189                   | 34        | 18  |
|              | J3         | 110           | 0        | 0        | 0            | 0    | 15     | 0          | 95                    | 19        | 20  |
|              | J4         | 215           | 0        | 0        | 110          | 0    | 23     | 0          | 82                    | 16        | 19  |
| Kerlavic     | KC1        | 0             | 0        | 9        | 0            | 0    | 9      | 0          | -9                    | 7         |     |
|              | KC2        | 188           | 0        | 0        | 0            | 0    | 19     | 0          | 169                   | 72        | 44  |
|              | KC3        | 288           | 0        | 0        | 0            | 0    | 22     | 0          | 266                   | 85        | 32  |
|              | KC4        | 388           | 0        | 0        | 0            | 0    | 23     | 0          | 364                   | 82        | 23  |
|              | KC6        | 375           | 0        | 0        | 0            | 0    | 21     | 0          | 353                   | 123       | 35  |
|              | KC7        | 200           | 0        | 0        | 0            | 0    | 20     | 0          | 180                   | 54        | 30  |
| Kerbernez    | KZ1        | 250           | 0        | 0        | 0            | 0    | 30     | 0          | 220                   | 38        | 17  |
|              | KZ2        | 0             | 80       | 0        | 0            | 0    | 29     | 0          | 51                    | 15        | 29  |
| Trevarez     | Ta         | 297           | 0        | 118      | 0            | 107  | 0      | 169        | 135                   | 47        | 35  |
|              | Tl         | 484           | 0        | 123      | 0            | 110  | 0      | 176        | 316                   | 56        | 18  |
|              | T1         | 310           | 0        | 0        | 0            | 0    | 21     | 0          | 288                   | 113       | 39  |
|              | T2         | 183           | 84       | 0        | 0            | 0    | 21     | 0          | 246                   | 90        | 36  |
|              | T3         | 30            | 76       | 0        | 0            | 0    | 19     | 0          | 88                    | 18        | 20  |
| Grecorn      | CVA1       | 134           | 0        | 0        | 53           | 0    | 8      | 0          | 73                    | 37        | 51  |
|              | CVA2       | 32            | 151      | 0        | 64           | 0    | 6      | 0          | 110                   | 45        | 41  |
|              | CVL1       | 272           | 0        | 51       | 44           | 43   | 0      | 31         | 206                   | 42        | 20  |
|              | CVL2       | 274           | 0        | 80       | 30           | 56   | 0      | 45         | 224                   | 70        | 31  |
| Le Pin       | P1         | 320           | 17       | 82       | 0            | 83   | 0      | 74         | 262                   | 125       | 48  |
|              | P2         | 100           | 32       | 64       | 0            | 66   | 0      | 47         | 83                    | 32        | 39  |
|              | P3         | 10            | 26       | 55       | 0            | 56   | 0      | 35         | 0                     | 9         |     |
| Scaër        | S1         | 200           | 0        | 0        | 145          | 0    | 15     | 0          | 40                    | 22        | 55  |
|              | S2         | 274           | 0        | 0        | 0            | 0    | 22     | 0          | 252                   | 21        | 8   |

\* déjec. hp : déjections hors parcelle

Dans le cas d'apports organiques réguliers, les entrées sont très importantes car l'agriculteur calcule les quantités qu'il apporte en fonction de l'azote efficace alors que la balance s'intéresse à l'azote total apporté. L'excédent de la balance est alors d'autant plus important que l'azote efficace de l'apport organique est faible : un apport d'azote d'un compost pourra être équivalent à celui d'un lisier, mais l'efficacité et donc l'exportation seront moindres.

En revanche, **le total des exportations dépend assez peu du niveau de fertilisation. C'est le mode d'exploitation qui conditionne l'ordre de grandeur de ce poste.** Il est faible et quasiment indépendant de la fertilisation en système de production bovin viande (de 15 à 30 kg N/ha/an pour une gamme de fertilisation allant de 0 à 390 kg N/ha/an). L'exploitation en fauche, de même que le pâturage seulement diurne par des vaches laitières, conduit à des exportations de l'ordre de 135 à 260 kg N/ha/an. L'influence du niveau de fertilisation est plus grande pour ces deux derniers systèmes. En outre, dans le cas du pâturage des vaches laitières, les déjections tombant hors de la parcelle peuvent représenter plus de la moitié de l'azote exporté. Lorsque les vaches laitières séjournent en permanence sur les parcelles sauf pour les traites, l'azote exporté par le lait varie entre 50 et 100 kg en général.

TABLEAU 3 : Données d'entrées et d'exportations, balance azotée, lessivage et % du lessivage dans l'excédent de la balance pour chaque traitement (kg N/ha/an ; moyennes pour les années de mesure).

TABLE 3 : Input and output data, N balance surpluses, leaching, and % of leaching in the surplus for each treatment (kg N/ha/year ; means of the years of measurement).

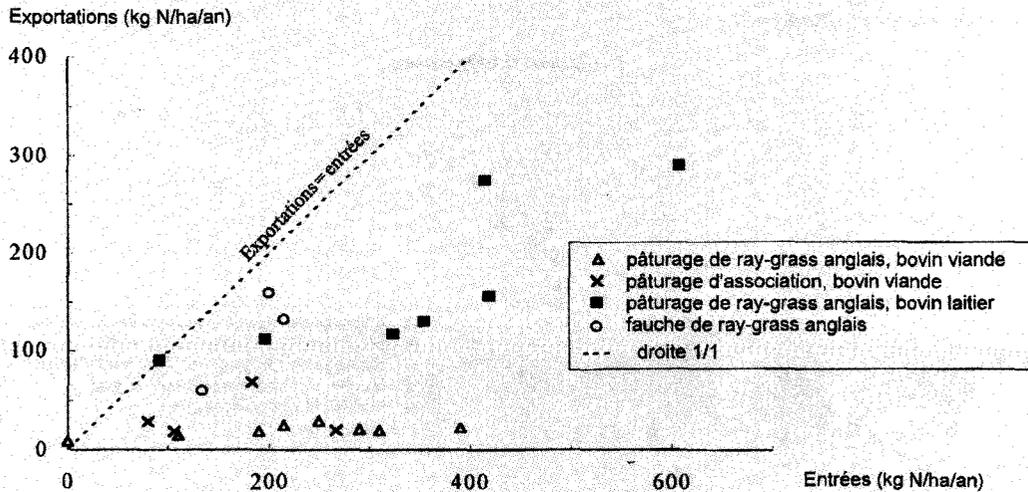


FIGURE 2 : Entrées et exportations moyennes d'azote selon le mode d'utilisation de la parcelle (synthèse de résultats expérimentaux ; chaque point représente la moyenne des 3 ou 4 années de mesures par parcelle).

FIGURE 2 : *Mean inputs and outputs of nitrogen according to pasture use (synthesis of experimental results ; each point is the mean of 3 or 4 years of measurement on each plot).*

## 2. La balance azotée permet d'identifier des situations contrastées

La figure 2 présente **les exportations en fonction des entrées pour les différentes stations expérimentales**. Ce type de représentation **permet de distinguer deux situations** principales :

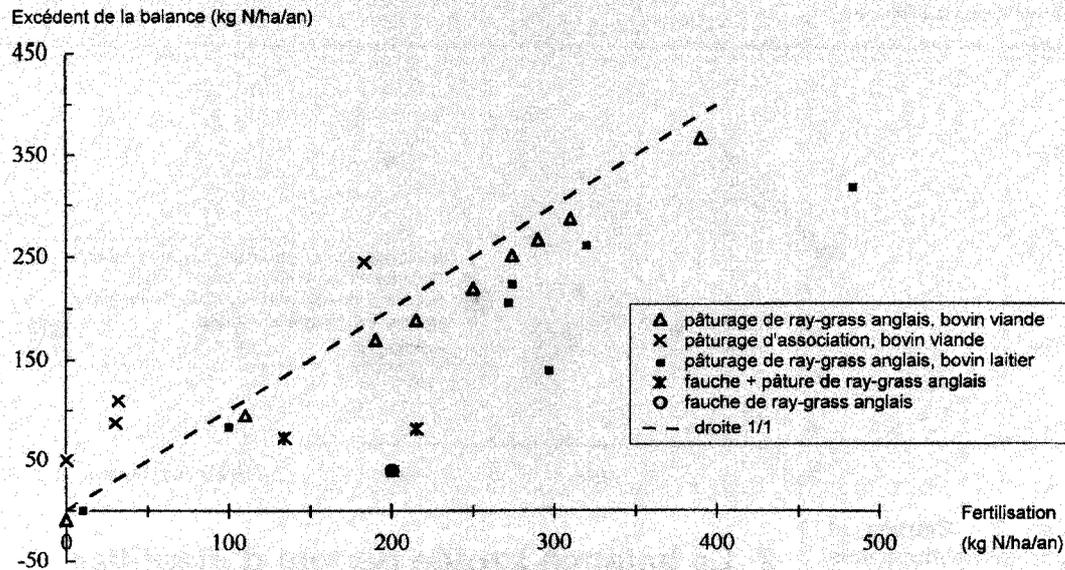
- les parcelles avec production de bovins en croissance ont toujours des sorties très faibles, quel que soit le niveau des intrants ;
- les parcelles pâturées par des vaches laitières ou fauchées : les sorties sont supérieures à celles obtenues en production de viande, à entrées égales.

**Le niveau de l'excédent de la balance selon la fertilisation azotée**, apport maîtrisable par l'agriculteur, **met en relief quatre familles de parcelles** (figure 3) :

- les parcelles fauchées pour lesquelles l'excédent de la balance est faible ;
- les parcelles de graminées pâturées pour lesquelles l'excédent de la balance représente en moyenne 96% de la fertilisation apportée ( $n=16$ ,  $r^2=0,865$ ), avec une distinction entre bovins viande et vaches laitières ;
- et enfin les parcelles d'associations pâturées avec des excédents de la balance naturellement supérieurs à la fertilisation (fertilisation apportée augmentée de la fixation symbiotique).

## 3. Balance azotée et lessivage du nitrate : une interprétation délicate...

Le lessivage est l'une des quatre affectations possibles de l'excédent de la balance azotée. Rappelons que les méthodes de mesures et



d'estimation du lessivage sont différentes selon les sites ; leurs comparaisons, ainsi que leurs analyses croisées avec les balances, sont donc à prendre avec précautions.

La figure 4, qui présente les résultats de Kerlavic (CASTILLON *et al.*, 1996), montre **une variabilité interannuelle très forte du lessivage** (de l'ordre de 100 kg N/ha/an) **sur une même parcelle, à même excédent de balance annuel**. Autant les potentialités du système de production mis en place présentent une assez forte stabilité (excédent de balance stable = produits réalisés par rapport aux intrants stables), autant **l'excédent de la balance se répartit de façon différente selon les années entre les pertes gazeuses, les pertes par lessivage et le bilan du sol**. Citons un exemple simple de variabilité : à La Jaillière, la lame drainante oscille entre 6 et 350 mm selon les années.

Ceci souligne qu'en termes stricts de prédiction du lessivage, l'excédent de balance annuel est inadapté. En revanche, en travaillant **sur un plus grand nombre d'années, et pour des sites dont la reprise de drainage hivernal est comparable** (sol entièrement lessivé au moins une fois), **la balance devient un bon outil prédictif du lessivage**.

La figure 5 souligne alors divers aspects. Elle met en évidence une tendance générale à **l'augmentation du lessivage avec l'augmentation de l'excédent de la balance** et ce, quel que soit le système. Site par site, les données moyennes présentent une bonne relation entre excédent de la balance et azote lessivé (Le Pin, Kerlavic, La Jaillière, Trévarez). Mais cette relation varie selon les sites et, toutes parcelles confondues, la liaison entre excédent de la balance et azote lessivé montre une forte variabilité et donc une faible valeur prédictive.

FIGURE 3 : Excédent de la balance azotée moyenne et niveaux de fertilisation selon le mode d'utilisation de la parcelle.

FIGURE 3 : Mean N balance surplus and levels of fertilization in relation to plot use.

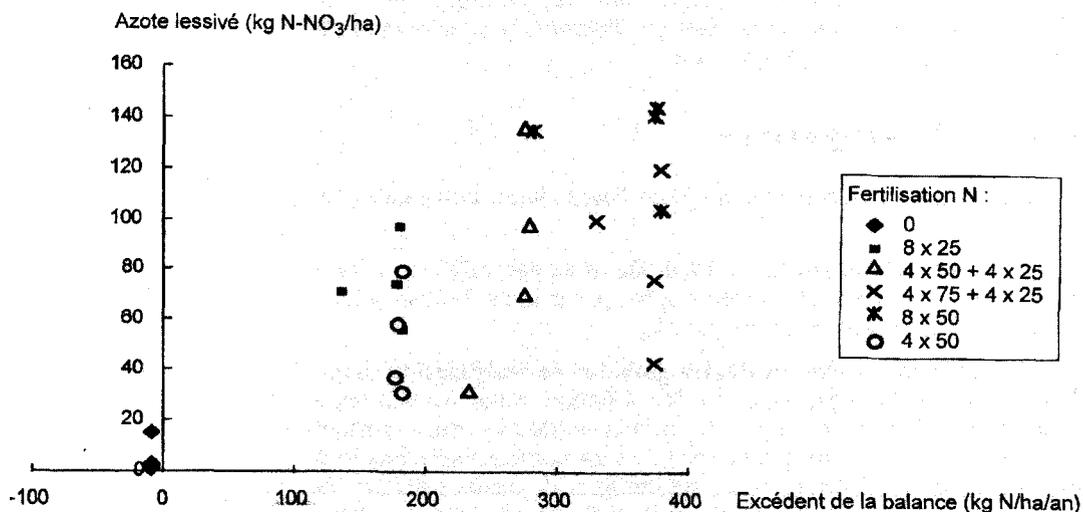
Dans tous les sites, **le lessivage est inférieur ou égal à 50% de l'excédent de la balance**. Le tableau 3 donne en valeurs moyennes la part de l'excédent qui est lessivée. Cette proportion peut être très faible (8% à Scaër) ou forte (51% à Crécom) et se situe en moyenne à 30%. On constate qu'elle varie non seulement selon le traitement (20% : ammonitrate ou 40% : lisier à Trévarez) mais aussi selon le pédoclimat et donc le site pour des systèmes pâturés comparables (sous ray-grass pâturé et fertilisé : 8% à Scaër avec 275N et 32% à Kerlavec avec 290N). Pour ces deux derniers points, quelques hypothèses peuvent être avancées. A Trévarez, une des parcelles reçoit en effet du lisier à même dose d'azote efficace que l'ammonitrate. On a de ce fait une entrée d'azote total beaucoup plus élevée sur le traitement lisier pour des quantités d'azote lessivées assez proches. Scaër est un site où vraisemblablement la part de dénitrification dans l'excédent de la balance est supérieure à celle du lessivage. Des travaux anglais sur des parcelles mal drainées présentent des résultats tout à fait similaires à ceux de Scaër (WEISSBACH et ERNST, 1994).

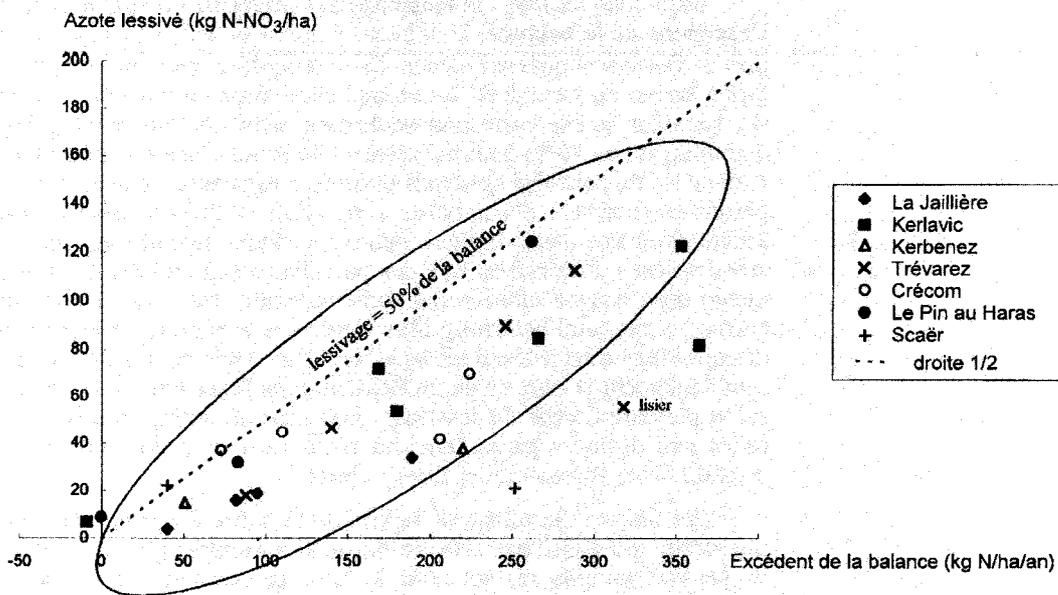
Par ailleurs, le nuage de points de la figure 5 permet de tracer une droite qui passe par zéro, ce qui tend à montrer qu'il n'y a guère de pouvoir tampon du sol pour le lessivage puisque ce dernier se déclenche en moyenne dès que la balance devient positive. En effet, on aurait pu faire l'hypothèse d'un excédent de balance minimum au delà duquel le lessivage apparaissait. Cependant, si l'on observe sur la figure certains sites particuliers comme Trévarez, pour un lessivage nul, l'abscisse est d'environ 50 kg, ce qui pourrait représenter le pouvoir de résorption des excédents de balance par le sol. Toutefois, il est peut être délicat d'interpréter des quantités d'azote de l'ordre de 50 kg en regard des incertitudes et des risques d'erreur évoqués au début de cet article.

On peut retenir de l'examen de cette figure que **les pertes d'azote sont modérées lorsque l'excédent de la balance est inférieur à 100 kg N/ha/an et qu'au delà elles ont tendance à augmenter mais**

FIGURE 4 : Excédent de la balance azotée annuelle et lessivage à Kerlavec en fonction de la fertilisation azotée.

FIGURE 4 : Yearly N balance surplus and leaching at Kerlavec in relation to N fertilization.





avec une grande variabilité. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de SIMON *et al.* (1997) qui montrent le même comportement en confrontant le lessivage et les jours de pâturage.

FIGURE 5 : Excédent de la balance azotée moyenne et lessivage par site.

FIGURE 5 : Mean N balance surplus and leaching per site.

## Discussion, conclusion

Réaliser une balance azotée sur une prairie, c'est d'abord simplifier le système tout en gardant tous les paramètres qui font sa complexité ; c'est porter à la fois un regard agronomique (sol - plante) et zootechnique (animal). C'est aussi un outil pédagogique (prise de conscience des importances relatives des différents postes) et un indicateur de risque pour l'environnement.

### ■ Un outil pédagogique

Autant pour le technicien que pour l'agriculteur, la balance permet :

- de **hiérarchiser les flux à l'échelle de la parcelle**, en mettant notamment l'accent sur les sorties d'azote par le biais de l'animal (en particulier en pâturage de bovins viande) ;

- de **réfléchir à des stratégies globales de fertilisation** (organique et minérale) des prairies et de l'exploitation. Nous avons montré en particulier la différence entre les systèmes pâturés, qui exportent peu et ont un excédent de balance élevé, et les systèmes avec fauche à faible excédent. Ces derniers sont susceptibles de mieux valoriser les intrants et plus particulièrement les engrais de ferme. Dans les exploi-

tations où la fertilisation organique est limitée, il paraît donc plus judicieux de choisir d'épandre en priorité sur les prairies fauchées ;

- de **mettre en relief la part importante prise par l'apport de l'alimentation complémentaire distribuée au pâturage**. Pour certaines situations, l'azote apporté par ce poste est supérieur à celui exporté par le lait. Il s'agit de rechercher un optimum technique qui a un double intérêt, économique et écologique. Le choix des aliments complémentaires ou du niveau de complémentation peut parfois être révisé et amélioré. On peut aussi s'interroger sur l'optimum de niveau de production individuel des animaux et de chargement.

En outre, **c'est une méthode d'estimation pertinente de l'excédent d'azote qui évite les hypothèses discutables de prélèvements des animaux et de restitutions au pâturage**.

### ■ Un indicateur du risque de lessivage ?

Nous avons montré qu'il y avait augmentation du risque de lessivage avec l'augmentation de l'excédent de la balance moyenne calculée sur plusieurs années. Néanmoins, **il faut rester prudent sur les liaisons entre niveau de l'excédent et lessivage du nitrate**. En effet, il y a de très fortes variabilités à la fois interannuelles et entre les sites.

Le lessivage représentant dans l'ensemble moins de la moitié de l'excédent moyen d'azote à la parcelle, on déduit que les deux tiers sont susceptibles d'entraîner des pertes par voie gazeuse (non souhaitables) ou restent stockés dans le sol. Dans cette dernière hypothèse, il faut s'interroger sur le devenir à long terme de cet azote emmagasiné dans le sol par rapport à la gestion de la durée de vie des prairies. En effet, si cet azote s'humifie et devient très vite indisponible et stabilisé, le retournement fréquent des prairies est sans conséquence pour les risques de lessivage. Au contraire, si cet azote constitue une fraction labile d'azote dans le sol, le retournement doit être le moins fréquent possible et effectué prudemment. Les premiers résultats de retournement montrent que la minéralisation qui s'ensuit ne varie pas proportionnellement au stockage récent des parcelles (< 10 ans).

Par ailleurs, l'INRA a engagé des travaux qui vont contribuer à progresser sur la répartition de l'azote de l'excédent. Le modèle Azopât présenté dans ce même numéro simule en effet les flux d'azote dans l'agrosystème prairial Sol - Plante - Animal à l'échelle annuelle (DECAU et DELABY, 1997). Il calcule les pertes par volatilisation, dénitrification et lessivage ainsi que les variations annuelles du compartiment d'azote organique du sol. D'autres travaux sont en cours sur le retournement des parcelles permettant de proposer des modalités de gestion à long terme et de passer de l'échelle de la parcelle à l'échelle du système fourrager.

### ■ Un outil : pour quoi faire ?

C'est surtout sur la durée d'application que se posent les problèmes d'interprétation. Si l'échelle annuelle est la plus adaptée aux

calculs, elle ne permet pas de tirer des conclusions satisfaisantes. Comme le montrent nos résultats, il faut plusieurs années pour mettre en relief des relations significatives. De plus, l'échelle parcellaire présente l'inconvénient de ne pas représenter l'ensemble d'un système. Il faudrait alors soit analyser toutes les parcelles du système, soit définir une parcelle moyenne pour avoir une analyse systémique. Néanmoins, **pour le diagnostic sur le moyen terme, c'est un outil qui permet de mettre en relief quelques aberrations de pratiques et aussi de conseiller des modifications de répartition des intrants** à l'échelle d'une exploitation.

Accepté pour publication, le 18 septembre 1997.

**Remerciements** : Nous tenons à remercier A. LE GALL, J.C. SIMON, L. LE CORRE, P. CASTILLON, J.P. CAZES, F. LAURENT et P. KERVELLANT pour avoir mis à notre disposition les informations dont ils étaient détenteurs sur les sites expérimentaux étudiés.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENOÎT M. (1992) : "Un indicateur des risques de pollution azotée nommé "Bascule" (Balance Azotée Spatialisée des systèmes de Culture de l'Exploitation)", *Fourrages*, 129, 95-110.
- BUSSINK D.W. (1994) : "Relationships between ammonia volatilization and nitrogen fertilizer application rate, intake and excretion of herbage nitrogen by cattle grazed swards", *Fertilizer Research*, 38, 111-121.
- CASTILLON P., LAURENT F., CAZES J.P., KERVELLANT P., BRIAND Y. (1996) : *Influence de la fertilisation azotée de la prairie pâturée sur la production d'herbe et la lixiviation du nitrate*, Action de recherche ACTA, 38 p.
- DECAU M.L., DELABY L., ROCHE B. (1997) : "Azopât. Une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par des vaches laitières. 2. Les flux du système Sol-Plante", *Fourrages*, 151.
- DEENEN P.J.A.G. (1994) : *Nitrogen use efficiency in intensive grassland farming*, doctoral thesis, Department of Agronomy, Wageningen, The Netherlands, 140 pp.
- DELABY L., DECAU M.L., PEYRAUD J.L., ACCARIE P. (1997) : "Azopât. Une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par des vaches laitières. 1. Les flux associés à l'animal", *Fourrages*, 151.
- MARY B. (1996) : *LIXIM : un modèle simple de calcul de la minéralisation et du lessivage d'azote*, rapport interne, INRA Laon.
- SEBILLOTTE J. (1992) : "Le bilan de l'azote du CORPEN : une démarche, un outil", *BTI*, mai-juin 1992, 13-20.
- SIMON J.C., LE CORRE L., VERTÈS F. (1994) : "Nitrogen balances on a farm scale : results from dairy farms in north west France", *Proc. 15<sup>th</sup> Gen. Meet. European Grassl. Fed.*, Wageningen, 6-9 june 1994, 429-433.
- SIMON J.C., PEYRAUD J.L., DECAU M.L., DELABY L., VERTÈS F., DELAGARDE R. (1997) : "Gestion de l'azote dans les systèmes prairiaux pâturés permanents ou de longue durée", *Colloque "Maîtrise de l'azote dans les agro-systèmes"*, Reims, 19-20 nov. 1996, sous presse.

VERTÈS F., SIMON J.C. (1991) : "Pourquoi et comment estimer le pourcentage de trèfle dans les associations graminée-légumineuse", *Fourrages*, 127, 297-312.

VERTÈS F., SOUSSANA J.F., LOUAULT F. (1995) : "Utilisation de marquages 15-N pour la quantification de flux d'azote en prairies pâturées", *Les isotopes stables pour l'étude du fonctionnement des plantes*, 16-17 déc. 1993, Coll. N°70, INRA Ed, 265-275.

VERTÈS F., CHAUMIER J.L., DECAU M.L., JOURNET M. (1996) : "Nitrogen flows and leaching under grazed grassland", *Grassland and land Use Systems*, G. Parente, J. Frame & S. Orsi (eds), *Proc. XVI<sup>th</sup> Meet. Europ. Grassl. Fed.*, Grado 16-21 sept. 1996, vol.1, 867-871.

WEISSBACH F., ERNST P. (1994) : "Nutrients budgets and farm management to reduce nutrients emissions", *Grassland and Society, Proc. 15<sup>th</sup> Gen. Meet. European Grassl. Fed.*, Junez 6-9, 1994, 343-359.

**ANNEXE : Traitements appliqués aux parcelles où ont été établies les balances azotées.**

*APPENDIX : Treatments applied to plots where the N balances were calculated.*

| Site         | Traitement | Couvert* | Exploitation* | Animaux* | Fertilisation N   | N total         | Nb jours pâturage |
|--------------|------------|----------|---------------|----------|-------------------|-----------------|-------------------|
| La Jaillière | J1         | RGA      | F             | V        | minérale          | 200             | 0                 |
|              | J2         | RGA      | P             | V        | minérale          | 215             | 733               |
|              | J3         | RGA      | P             | V        | minérale          | 110             | 518               |
|              | J4         | RGA      | F + P         | V        | minérale          | 215             | 337               |
| Kerlavic     | KC1        | RGA      | P             | V        | minérale          | 0               |                   |
|              | KC2        | RGA      | P             | V        | minérale          | 8 x 25          |                   |
|              | KC3        | RGA      | P             | V        | minérale          | 4 x 50 + 4 x 25 |                   |
|              | KC4        | RGA      | P             | V        | minérale          | 4 x 75 + 4 x 25 |                   |
|              | KC6        | RGA      | P             | V        | minérale          | 8 x 50          |                   |
|              | KC7        | RGA      | P             | V        | minérale          | 4 x 50          |                   |
|              | Kerbernez  | KZ1      | RGA           | P        | V                 | minérale        | 250               |
| KZ2          |            | RGA - TB | P             | V        | minérale          | 0               | 500               |
| Trevarez     | Ta         | RGA      | P             | L        | minérale          | 297             | 817               |
|              | Tl         | RGA      | P             | L        | lisier de porcs   | 484             | 737               |
|              | T1         | RGA      | P             | V        | minérale          | 310             | 1044              |
|              | T2         | RGA - TB | P             | V        | minérale + lisier | 183             | 981               |
|              | T3         | RGA - TB | P             | V        | lisier            | 30              | 774               |
| Crecom       | CVA1       | RGA      | P + F         | V        | lisier de porcs   | 134             | 324               |
|              | CVA2       | RGA - TB | P + F         | V        | minérale          | 32              | 371               |
|              | CVL1**     | RGA      | P             | L        | minérale          | 272             | 484               |
|              | CVL2**     | RGA      | P             | L        | minérale          | 274             | 645               |
| Le Pin       | P1         | PP       | P             | L        | minérale          | 320             | 689               |
|              | P2         | PP       | P             | L        | minérale          | 100             | 550               |
|              | P3         | PP       | P             | L        | minérale          | 10              | 456               |
| Scaër        | S1         | RGA      | F + P         | V        | minérale          | 200             | 225               |
|              | S2         | RGA      | P             | V        | minérale          | 274             | 330               |

\* RGA : ray-grass anglais, TB : trèfle blanc, PP : prairie permanente, P : pâture, F : fauche, V : bovin viande, L : bovin lait

\*\*Moyennes de parcelles appartenant à 2 systèmes différents : un avec une forte proportion de maïs, l'autre avec plus d'herbe

SUMMARY

***Nitrogen balance on the plot scale in grazed pastures***

The determination of the annual nitrogen balance in a pasture considers the "plot + animal" system as a black box. Inputs, viz. mineral and organic fertilizers, complementary feeds, symbiotic fixation and atmospheric deposition of N, are taken into account. Outputs are animal products, harvested herbage, and animal returns outside the plot. The balance surplus includes four terms : losses by leaching, gaseous losses, soil nitrogen variation, and cumulated errors arising from the assessment of the various factors. The data necessary for the calculation are explained in detail. This balance was used on a set of experimental farms in Western France. The levels of inputs and of outputs, and the calculated balance surpluses are presented in relation to grassland utilization and pedoclimatic conditions. The relationship between nitrogen balance and nitrate leaching is investigated. The interest of this balance calculation as a didactic tool and as a guide for pasture management or as an indicator for pollution risk, is discussed.