

REPUBLIQUE FRANÇAISE



MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
ET DE LA PÊCHE



MINISTÈRE DE
L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
ET DE L'ENVIRONNEMENT

CORPEN

(COMITE D'ORIENTATION POUR LA REDUCTION DE LA POLLUTION DES EAUX
PAR LES NITRATES, LES PHOSPHATES ET LES PRODUITS PHYTOSANITAIRES
PROVENANT DES ACTIVITES AGRICOLES)

**Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium
associés aux vaches laitières et à leur système fourrager**

Influence de l'alimentation et du niveau de production



Groupe « Alimentation Animale » « Sous groupe Vaches laitières » Novembre 1999



LE CORPEN

Comité d'Orientation pour la Réduction de la Pollution des Eaux par les Nitrates, les phosphates et les produits phytosanitaires provenant des activités agricoles. Lors de sa création sur décision des ministres chargés de l'environnement et de l'agriculture (en 1984), son domaine d'action était limité aux pollutions par les nitrates et les phosphates. Il a été étendu en 1992 aux pollutions par les produits phytosanitaires.

SES OBJECTIFS ET MISSIONS

Le CORPEN est un lieu de concertation entre tous les acteurs concernés par la pollution des eaux par les nitrates, les phosphates et les produits phytosanitaires provenant des activités agricoles. Il est consulté sur les programmes engagés dans ce domaine et fait des suggestions aux ministres pour les orienter, compléter ou renforcer.

Dans la pratique, les programmes sont élaborés à la fois par l'administration et par le CORPEN.

- il élabore et approuve des outils servant aux agriculteurs pour modifier leurs pratiques en vue de préserver la qualité de l'eau compte tenu de leurs contraintes techniques et financières.
- il aide l'administration à mieux adapter ses actions réglementaires aux contraintes locales.
- il met à disposition des experts les éléments techniques pour les négociations internationales.

SA COMPOSITION

Elle est fixée par décision interministérielle et évolue en fonction de l'extension du domaine d'action du comité, ainsi que des demandes formulées par les organismes qui souhaitent en faire partie. Le comité est présidé par Pierre BALLAND, ingénieur général du GREF, et comprend des représentants :

- de la profession agricole :
 - Chambres d'Agriculture (APCA).
 - Syndicalisme (FNSEA, CNJA, Confédération Paysanne).
 - Mutualité, Coopération, Crédit (CNMCCA).
 - Agriculture biologique (FNAB)
- des instituts et centres techniques agricoles :
ACTA, AGPM (maïs), CETIOM (oléo-protéagineux), CTIFL (fruits et légumes), ITAVI (aviculture), IE (élevage), ITB (betterave), ITCF (céréales et fourrages), ITP (porc), ITV (vigne).
- des établissements publics de recherche :
BRGM, Cemagref, IFREMER, INRA.
- des industriels :
Union des Industries de la Fertilisation (UNIFA),
Union des Industries de la Protection des Plantes (UIPP).
- de la Fédération Nationale des Groupements de Protection des Cultures (FNGPC).
- du Syndicat Professionnel des Distributeurs d'Eau (SPDE).
- d'élus :
 - Association des Maires de France (AMF).
 - Fédération Nationale des Collectivités Concédantes et Régies (FNCCR).
- des consommateurs :
 - Confédération Syndicale du Cadre de Vie (CSCV).
- des associations agréées de protection de l'environnement et de pêche :
 - France Nature Environnement (FNE).
 - Union Nationale des fédérations départementales des Associations Agréées de Pêche et de Pisciculture (UNAAPP).
- des six Agences de l'Eau.
- des directions concernées des ministères (agriculture, environnement, santé, économie, industrie, intérieur).
- de personnalités qualifiées.

PRINCIPAUX PUBLICS CONCERNÉS

- Les agriculteurs par l'intermédiaire de leurs conseillers et techniciens
- Les élus
- Les formateurs
- Les administrations

MÉTHODE DE TRAVAIL

Des groupes de travail thématiques réunissant des experts de tous les organismes concernés par le sujet traité font la synthèse des connaissances scientifiques et techniques disponibles. Ils mobilisent à ce jour plus de deux cents spécialistes sollicités en fonction des centres d'intérêt du CORPEN.

Un bureau permanent, qui se réunit tous les deux mois, élabore, sur la base des propositions des groupes de travail, les messages faisant l'objet d'un consensus, puis décide la publication des documents techniques et méthodologiques. Lorsqu'un texte n'obtient pas le consensus, une nouvelle rédaction est recherchée jusqu'à ce que toutes les parties aient donné leur accord.

Un comité plénier annuel, en présence des représentants des ministres, évalue le travail effectué dans l'année écoulée et fixe les priorités pour l'année suivante.

LES PUBLICATIONS DU CORPEN DISPONIBLES

concernant les nitrates, les phosphates et les produits phytosanitaires

Depuis 1984, le CORPEN a publié plus de vingt cinq ouvrages et brochures techniques diffusés par les réseaux des membres du comité. En voici quelques exemples :

Nitrates et phosphates

- Programme d'action pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates et les phosphates provenant des activités agricoles (1984)
- Amélioration des pratiques agricoles pour réduire les pertes de nitrates vers les eaux (1986 et actualisations en 1989 et 1993)
- Bilan de l'azote à l'exploitation (1988)
- Cahier des charges des opérations de conseil aux agriculteurs en vue de protéger l'eau contre la pollution nitrée (1991)
- Interculture (1991)
- Recueil des bases de préconisations de la fertilisation azotée (1992)
- Propositions pour le Code des Bonnes Pratiques Agricoles (1993)
- L'êlu face aux nitrates (1994)
- Programme national de réduction de la pollution des eaux par les nitrates provenant des activités agricoles (1994)
- Estimation des rejets d'azote et de phosphore des élevages de porcs - Impact des modifications de conduite alimentaire et des performances techniques (1996) + plaquette (4 pages)
- Estimation des rejets d'azote par les élevages avicoles (1996)
- Bien choisir et mieux utiliser son matériel d'épandage de lisiers ou de fumiers (1997)
- Estimation des rejets de phosphore par les élevages avicoles - Propositions de références provisoires (1997)
- Programme d'action concernant la maîtrise des rejets de phosphore provenant des activités agricoles (1998) + plaquette (6 pages)
- Fertilisation azotée de trois légumineuses : le haricot, la luzerne et le pois protéagineux (1999)
- Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux vaches laitières et à leur système fourrager (1999)
- Estimation des rejets d'azote et de phosphore par les élevages cynicoles (1999)

Produits phytosanitaires

- Programme d'action contre la pollution des eaux par les produits phytosanitaires provenant des activités agricoles (1994)
- Protection des cultures et prévention des risques de pollution des eaux par les produits phytosanitaires utilisés en agriculture - Recommandations générales (1995) + plaquette (4 pages)
- Qualité des eaux et produits phytosanitaires - Propositions pour une démarche de diagnostic (1996)
- Techniques d'application et de manipulation des produits phytosanitaires utilisés en agriculture - Eléments pour prévenir les risques de pollution des eaux (1996) + jeu de transparents
- Produits phytosanitaires et dispositifs enherbés - Etat des connaissances et propositions de mise en oeuvre (1997) + plaquette (4 pages)
- Désherbage - Eléments de raisonnement pour une maîtrise des adventices limitant les risques de pollution des eaux par les produits phytosanitaires (1999)

La coordination des actions est assurée par le Secrétariat du CORPEN (SCORPEN), Mission interministérielle Agriculture - Environnement.

Le Secrétariat du CORPEN édite le bulletin de liaison "l'écho des nitrates et des phytos" (environ 5 numéros par an dont un spécial à l'occasion du Salon de l'Agriculture) qui donne régulièrement les informations sur l'état d'avancement des travaux du CORPEN.

Pour tout renseignement contacter
le Secrétariat du CORPEN
Ministère de l'Aménagement du Territoire
et de l'Environnement
Direction de l'eau
20, avenue de Ségur
75302 Paris 07 SP
Téléphone : 01.42.19.12.86

Pour toute commande de brochures et abonnement à
"l'écho des nitrates et des phytos":
par fax uniquement au 01.42.19.12.93



<i>Introduction</i>	3
<i>1/ Quantification des flux d'éléments N, P et K associés à la vache laitière.</i>	4
1.1 Calcul des rejets.	4
1.2 Effet du niveau de production laitière.	5
1.3 Pertes par volatilisation avant épandage	5
1.4 Exportation par les cultures fourragères consommées par les vaches laitières.	5
<i>2/ Effets du système d'alimentation et du système fourrager sur les flux N, P et K.</i>	6
2.1 Principes de calcul retenus	6
2.2 Références par types de régime (Tableau 4)	7
2.3 Exemples d'utilisation des références (Cas de l'élément N)	8
Exemple N° 1 (Sans pâturage)	8
Exemple N° 2 (Avec pâturage)	9
<i>3/ Pratiques alimentaires visant à réduire les rejets N, P et K</i>	10
<i>Conclusion</i>	11
<i>Figures et tableaux</i>	12
Figure 1 : Principaux facteurs de variation des rejets N, P et K chez la vache laitière	12
Tableau 1: Composition chimique des aliments utilisés lors du calcul des rejets N, P et K.	13
Tableau 2 : Quantités mensuelles d'éléments N, P et K excrétées par une vache laitière (6000 kg lait/an) selon la nature du fourrage constituant la ration de base.	13
Tableau 3 : Répartition (en %) des déjections selon le site d'alimentation et le type de régime.	13
Tableau 4 : Principes d'utilisation	14
Tableau 4 : Variations avec le régime alimentaire et le site de restitution des quantités mensuelles d'éléments N, P et K excrétées et épandables issus d'une vache laitière (6000 kg lait/an) vs la capacité de valorisation des surfaces fourragères.	15
Tableau 5 : Quelques exemples de quantités d'éléments N, P et K épandables après stockage (+ épandus au pâturage) par vache et par an selon le système d'alimentation et le niveau de production du troupeau (en kg/an/vache)	16
<i>Annexe : Quelques définitions caractérisant les flux N, P et K</i>	17
<i>Références bibliographiques</i>	18

Document rédigé par
Luc DELABY (INRA-SRVL) et Jacques LUCBERT (Institut de l'élevage)
dans le cadre du sous-groupe de travail "Vaches laitières"
animé par Jacques LUCBERT
du groupe "Alimentation Animale" du CORPEN.

Ont participé à ce groupe

Raymond VERITE
François MESCHY
André Le GALL

INRA - SRVL St Gilles (35)
INRA - INA-PG Paris (75)
Institut de l'Elevage Le Rheu (35)

et des représentants d'entreprises de l'alimentation animale privées ou coopératives.

Introduction

La maîtrise des risques de pollution du milieu, les eaux principalement aujourd'hui, par l'azote (N) et le phosphore (P) rejetés par les activités d'élevage est une préoccupation forte des éleveurs. La difficulté de cette maîtrise tient d'une part à la nécessité de concilier celle-ci avec des objectifs de rentabilité économique et d'autre part à la complexité des facteurs contribuant à créer le risque de pollution. En effet si la quantité d'éléments minéraux rejetés est un facteur de risque important, la nature du couvert végétal qui les reçoit, le lieu d'émission des rejets ou le climat viennent corriger ou aggraver le risque induit par les quantités rejetées. De ce point de vue les systèmes laitiers ne peuvent être abordés de la même façon que les élevages hors-sol. Les vaches laitières sont nourries pour l'essentiel à partir des productions des surfaces fourragères de l'exploitation. Dans les systèmes laitiers, les surfaces recevant les déjections, fourrages annuels ou prairies pâturées mais aussi céréales, sont en général les surfaces appartenant au système d'alimentation des vaches. Les rejets constituent en quelque sorte et pour l'essentiel un retour des éléments minéraux sur leur surface d'origine, ce qui est totalement vrai dans le cas extrême où il n'y a aucun aliment acheté à l'extérieur de l'exploitation. Il ne peut donc y avoir en ce qui concerne les vaches laitières un raisonnement des risques de pollution limité aux rejets au niveau de l'animal *sensu stricto*. Illustrons le par un exemple. Certaines ressources fourragères intrinsèquement riches en azote, c'est le cas de l'herbe, peuvent générer des rejets par l'animal également riches en azote mais elles peuvent aussi posséder, comme l'herbe, des grandes capacités à absorber ce minéral. C'est pourquoi ce document s'attache à décrire les flux d'éléments minéraux N, P, K, à l'intérieur des systèmes d'alimentation en incluant la valorisation par les surfaces fourragères, et non les seuls rejets au niveau de l'animal.

C'est pourquoi également il nous paraît important que dans une démarche de conseil, les utilisateurs raisonnent d'abord sur la globalité du système d'exploitation plutôt que strictement sur les rejets à l'animal. Dans cet esprit certains indicateurs de bilans globaux nous paraissent plus aptes à révéler des excès de minéraux au niveau de l'exploitation qu'un simple raisonnement sur les rejets de l'animal. L'utilisation de ce dernier indicateur peut par contre trouver son intérêt pour comparer des pratiques d'éleveurs ayant le même type de système d'exploitation.

L'objectif de ce document est donc de présenter les différences de flux de N, P, K induites par deux paramètres importants d'élevage : le niveau de production laitière et la nature du système fourrager.

La méthode de calcul proposée permet pour différents systèmes fourragers de calculer les quantités excrétées par l'animal et leur décomposition en quantités épandables après stockage ou en restitutions directes. Elle permet de tenir compte des pertes aux différents stades pour calculer les quantités totales restituées au champ et de pouvoir comparer ces dernières avec les quantités valorisables par les surfaces produisant une ressource alimentaire équivalente à celle consommée par les vaches laitières.

Cette brochure de portée nationale a pour finalité essentielle de conseiller les éleveurs et de les aider à raisonner le système d'alimentation et la conduite du troupeau laitier en prenant en compte l'impact sur l'environnement. Son orientation pédagogique, la complexité des phénomènes décrits, la nécessité de recourir à des conventions et la grande diversité des situations d'élevage rendraient hasardeuse et contestable son utilisation en termes réglementaires ou normatifs ; cette brochure ne prétend pas traiter des questions qui se posent à l'éleveur dans son contexte local.

Dans ce document, l'azote, le phosphore et le potassium sont toujours exprimés en g ou kg d'élément N, P et K. Pour convertir les éléments P et K en anhydride phosphorique (P_2O_5) ou oxyde de potassium (K_2O), il suffit de multiplier les valeurs P et K par les coefficients respectifs de 2,29 et 1,20.

1/ Quantification des flux d'éléments N, P et K associés à la vache laitière.

1.1 Calcul des rejets.

Chez la vache laitière, la quantité (Q) moyenne journalière d'éléments N, P ou K excrétée dans les déjections (fèces + urine) se déduit du bilan simplifié :

$$Q \text{ ingéré (g/j)} = Q \text{ lait (+ foetus)} + Q \text{ fèces} + Q \text{ urine [1]}$$

En effet, à l'échelle de l'année, les quantités d'éléments fixées définitivement par l'organisme (viande, os, poils, ...) sont négligeables et seront considérées comme nulles.

Les quantités exportées dans le lait dépendent surtout du niveau de production des animaux. La composition du lait, notamment la teneur en azote, varie un peu mais ceci reste négligeable pour le bilan. Des références moyennes par kg de lait ont donc été retenues:

$$5,1 \text{ g d'N, } 0,9 \text{ g de P et } 1,5 \text{ g de K}$$

La quantité d'azote excrétée dans les fèces varie peu avec le régime et sa teneur en N mais elle dépend essentiellement du niveau d'ingestion. En moyenne, 7,2 g d'N sont excrétés dans les fèces par kg de matière sèche ingérée (MSI). Au contraire l'azote de l'urine est très variable et constitue l'exutoire naturel de tout excès. Les quantités d'N excrétées par voie urinaire correspondent au solde de l'équation [1].

Chez la vache laitière, le phosphore excrété est essentiellement contenu dans les fèces (de 1 à 5 % seulement dans les urines). A l'inverse, la quasi totalité de l'excrétion de potassium des déjections est sous forme urinaire (Meschy, comm. personnelle).

En résumé (Figure 1), les quantités d'éléments excrétées dans les déjections dépendent surtout des quantités de ces éléments consommées par vache laitière. L'ensemble des facteurs qui contribuent à accroître le niveau d'ingestion en ces éléments (teneurs des aliments, niveau de production laitière, niveau d'ingestion de la ration) va entraîner une augmentation plus ou moins sensible des quantités excrétées par animal.

1.2 Effet du niveau de production laitière.

L'accroissement du niveau de production individuel a pour effet d'accroître les quantités ingérées, les quantités exportées dans le lait et celles excrétées dans les déjections par vache. En moyenne, les quantités d'éléments mises en jeu varient à peu près linéairement dans le même sens que la production laitière au rythme d'environ 5 % (entre 3 et 8% selon les types de ration) pour N, 5% pour P et 1,5% pour K par tranche de 1000 kg de lait de part et d'autre du niveau de base (6000 kg).

Si les quantités N, P et K excrétées par vache augmentent avec leur niveau de production, ces mêmes rejets N, P et K diminuent lorsqu'ils sont exprimés par tonne de lait produite.

1.3 Pertes par volatilisation avant épandage

Les déjections émises en bâtiments ou sur les aires de collecte subissent des pertes d'azote par volatilisation d'ammoniac au cours de la collecte et du stockage. D'après la bibliographie (Sommer et al, 1997 ; Legarto, 1998 ; Dollé et Capdeville, 1998), ces pertes gazeuses représentent entre 25 à 35 % de l'azote excrété par l'animal. La valeur de 30 % a été retenue¹.

Bien sûr, d'autres pertes par voie gazeuse se produisent lors de l'épandage des engrais de ferme au champ et lors des restitutions d'urine et fèces directement au pâturage. Mais cette part de volatilisation n'est pas prise en compte dans ce document. En conséquence, les systèmes d'alimentation comportant une part importante d'herbe pâturée se caractérisent dans ce document par un abattement d'azote par voie gazeuse plus faible que celui observé dans les systèmes d'alimentation basés sur les fourrages stockés et distribués à l'étable.

Pour les éléments P et K, aucune perte sous forme gazeuse n'est comptabilisée quel que soit leur site d'émission.

1.4 Exportation par les cultures fourragères consommées par les vaches laitières.

Le caractère indissociable de l'élevage laitier et de la surface fourragère fait qu'une part importante des rejets N, P ou K est issue des fourrages produits sur l'exploitation. Ces cultures fourragères représentent un réel pouvoir de valorisation de ces éléments fertilisants. La capacité de valorisation pour les éléments N, P et K correspond aux quantités N, P et K contenues dans les fourrages consommés par la vache laitière au cours d'une année. Cette capacité de valorisation ne fait en aucun cas référence au rendement de la culture. D'autre part, ces quantités valorisables varient très peu avec le niveau de production des animaux. En effet, généralement les quantités de fourrages ingérées varient peu avec le niveau de production individuelle, contrairement aux quantités de concentrés consommées.

Il existe une cohérence très forte entre les quantités d'éléments N, P et K excrétées et la capacité de valorisation par les cultures fourragères. Ainsi en terme d'azote, compte tenu de la volatilisation durant le stockage, les quantités totales restituées au champ sont toujours inférieures aux quantités absorbées par les fourrages destinés aux vaches laitières.

¹ Le groupe "Volatilisation des composés azotés" du CORPEN réalise actuellement l'état des connaissances sur les pertes par volatilisation en cours de collecte et au stockage

2/ Effets du système d'alimentation et du système fourrager sur les flux N, P et K.

La grande diversité des régimes et des pratiques alimentaires en élevage laitier rend impossible la prise en compte exhaustive et précise de toutes les situations d'élevage. Pourtant les rejets azotés seront toujours très dépendants de la teneur en N du régime, donc de deux facteurs importants que sont les pratiques de complémentation et le système fourrager. Si le 1^{er} point est très difficile à appréhender, le second peut être plus facilement intégré dans l'estimation des rejets N, P et K des vaches laitières.

Pour cela, il importe de

- décrire les grands types de régimes alimentaires utilisés en France
- combiner les différents régimes et séquences alimentaires utilisés au cours de l'année
- distinguer les flux N, P et K collectés de ceux émis au pâturage.

A partir d'un grand nombre de simulations de rationnement (Vérité, 1991 ; Delaby et al, 1995 ; Meschy et al, non publié), le choix a été fait d'exprimer les rejets N, P et K **sur la base d'un mois moyen de lactation pour une vache laitière (6000 kg de lait/ lactation)² intégrant la période de tarissement**, puis de cumuler ces résultats mensuels à l'échelle de l'année selon la durée de chaque séquence d'alimentation. L'ensemble des simulations réalisées a été raisonné en utilisant une complémentation en énergie, azote et minéraux adaptée aux besoins des animaux et à la composition des fourrages des différentes rations de base étudiées (INRA, 1988).

2.1 Principes de calcul retenus

La composition chimique des aliments retenus est présentée au tableau 1. Les rejets N, P et K mensuels d'une vache laitière sont calculés selon la composition de son régime alimentaire en distinguant différentes associations de fourrages selon leur nature, leur proportion dans la ration et en distinguant les sites d'alimentation et de restitution du troupeau (Tableaux 2 et 3).

A l'étable, la totalité des déjections émises est collectée. Pendant la période de pâturage, les animaux rentrent en bâtiment pour la traite et/ou la consommation de fourrages complémentaires. Une partie des déjections est donc collectée. Si le séjour en stabulation est limité (cas du pâturage à temps plein ou d'une faible complémentation en fourrage), les déjections émises en bâtiment sont donc collectées

² Cette vache laitière est une vache multipare d'un poids vif de 600 kg, produisant 6000 kg de lait en 10 mois de lactation et 2 mois de tarissement. Les fourrages sont distribués à volonté et la complémentation en concentré est raisonnée afin de satisfaire au mieux ses besoins énergétiques, azotés et minéraux. Cette complémentation est composée de céréales, pulpes de betteraves déshydratées et de tourteau de soja. Le logiciel INRAtion (1994) a été utilisé afin de déterminer sur un pas de temps journalier les besoins de la vache, sa capacité d'ingestion, les quantités de fourrages consommés et la complémentation strictement nécessaire.

représentent 15 % du total. Par contre, si les animaux reçoivent une ration mixte et séjournent en stabulation une partie de la journée ou la nuit (cas d'une complémentation en fourrages représentant 50 % ou plus de la ration), la proportion des déjections émises en bâtiment et collectée est supposée égale à 65 % du total.

Les quantités épandables par l'éleveur correspondent alors aux quantités d'éléments N, P et K émises à l'intérieur du bâtiment et collectées, en admettant une perte de 30 % par volatilisation au cours de la collecte et du stockage pour l'élément N. Au pâturage, les quantités épandues correspondent intégralement aux quantités émises sur les prairies, sans aucune perte d'N liée au stockage. Enfin, la somme de ces quantités collectées épandables ou émises au pâturage qui constitue les quantités totales restituées au champ est à comparer aux quantités d'éléments N, P et K exportées par les cultures consommées par les vaches laitières.

2.2 Références par types de régime (Tableau 4)

Avec un régime à base d'ensilage de maïs, les quantités N, P et K excrétées par vache (6000 kg lait/an) et par mois en stabulation sont respectivement de 6,7 ; 1,3 et 4,7 kg. L'utilisation d'herbe conservée comme ration de base entraîne des rejets N, P et K de 9,1 ; 1,4 et 7,7 kg /mois. Ces restitutions en bâtiment sont collectées et correspondent alors pour l'élément N à 4,7 kg et 6,4 kg épandables par vache et par mois pour les régimes à base d'ensilage de maïs ou d'herbe conservée.

Au pâturage, avec un régime à base d'herbe pâturée, les restitutions totales (Intérieur + Extérieur) atteignent, respectivement pour N, P et K : 11,2 ; 1,5 et 13,5 kg /vache et /mois. Mais les quantités épandables par l'éleveur après collecte et stockage ne sont que de 1,2 ; 0,2 et 2,0 kg N, P et K, compte tenu que l'essentiel des restitutions est assuré par l'animal sur la surface pâturée.

D'autres cas couramment rencontrés de rations mixtes en élevage laitier (50/50 ou 75/25) avec ou sans pâturage sont détaillés au tableau 4.

Sauf pour le phosphore des régimes riches en ensilage de maïs, les capacités de valorisation en éléments fertilisants N, P et K des cultures consommées par les animaux sont supérieures ou égales aux quantités totales restituées au champ. Cette adéquation traduit en fait le poids considérable des fourrages produits sur l'exploitation dans l'alimentation du troupeau laitier.

2.3 Exemples d'utilisation des références (Cas de l'élément N)

Exemple N° 1 (Sans pâturage)

Soit 40 vaches laitières d'un niveau de production moyen de 7500 kg de lait. Ce troupeau est alimenté exclusivement à l'intérieur, avec 6 mois d'ensilage de maïs et 6 mois d'une ration mixte composée de 50 % d'ensilage de maïs et 50 % d'ensilage d'herbe.

Les quantités d'N épandables après stockage de ce troupeau sont tout d'abord calculées pour la vache laitière produisant 6000 kg de lait. Selon le tableau 4, ils s'élèvent pour l'azote à :

$$(6 \text{ mois} \times 4,7 \text{ kg}) + (6 \text{ mois} \times 5,5 \text{ kg}) = 61 \text{ kg / vache à } 6000 \text{ kg}$$

Ils sont ensuite ajustés pour le niveau de production (7500 kg) puisque les quantités excrétées s'accroissent de 5 % pour l'élément N par tranche de 1000 kg de lait, soit :

$$61,2 \times 1,075 = 66 \text{ kg N / vache à } 7500 \text{ kg}$$

Les quantités totales d'éléments fertilisants restituées au champ sont ici égales aux quantités collectées épandables issues du troupeau (40 vaches) compte tenu de sa conduite alimentaire ; elles atteignent 2632 kg N.

En comparaison, les exportations d'azote par les fourrages consommés par la vache de 7500 kg de lait atteignent :

$$(6 \text{ mois} \times 5,6 \text{ kg}) + (6 \text{ mois} \times 7,4 \text{ kg}) = 78 \text{ kg N / vache à } 7500 \text{ kg}$$

Exemple N° 2 (Avec pâturage)

Un troupeau de 60 vaches est alimenté durant 7 mois en stabulation à partir d'une ration mixte composée de 75 % d'ensilage de maïs et 25 % d'herbe conservée et durant 5 mois au pâturage. Au cours des 5 mois de pâturage, le troupeau a reçu pendant 2 mois, un apport de fourrage complémentaire sous forme d'ensilage de maïs, à raison d'environ 5 kg par jour après la traite. Le niveau moyen de production laitière du troupeau est de 6000 kg de lait.

Les rejets annuels pour une vache de ce troupeau se scindent en rejets intérieurs et extérieurs, compte tenu de la pratique du pâturage. Les rejets collectés en bâtiment correspondent aux 7 mois d'alimentation à base de fourrages conservés et à 15 % des rejets émis durant les 5 mois de pâturage puisque l'apport d'ensilage de maïs durant les 2 mois de cette période de pâturage est très limité (*Cf. chap. 2.1*).

Ainsi, à partir du tableau 4, les quantités d'éléments N épandables après stockage atteignent :

$$(7 \text{ mois} \times 5,1 \text{ kg}) + (5 \text{ mois} \times 1,2 \text{ kg}) = 42 \text{ kg N/vache,}$$

soit 2502 kg N pour les 60 vaches laitières

Les quantités restituées directement au pâturage par les animaux peuvent être estimées directement à partir du tableau 4. Pour une vache, elles représentent :

$$5 \text{ mois} \times 9,5 \text{ kg} = 47 \text{ kg N/vache,}$$

soit pour le troupeau 2850 kg N

Les quantités totales restituées au champ sont donc de **89 kg N/vache** tandis que les quantités totales d'azote exportées par les fourrages atteignent :

$$[(7 \text{ mois} \times 6,5 \text{ kg}) + (5 \text{ mois} \times 13,7 \text{ kg})] \times 60 \text{ vaches} = 114 \text{ kg N/vache} \times 60 = 6840 \text{ kg N}$$

L'introduction du pâturage induit un accroissement sensible des rejets azotés par vache mais se caractérise par des quantités d'azote épandables après stockage plus faibles et surtout un capacité de valorisation de l'azote par les fourrages plus importante.

D'autres exemples de quantités annuelles N, P et K collectées épandables selon le système d'alimentation sont présentés au tableau 5.

3/ Pratiques alimentaires visant à réduire les rejets N, P et K

L'alimentation et les pratiques de rationnement fournissent certaines possibilités pour réduire des rejets N, P et K des vaches laitières. En situation d'excès d'apport N, P et K par rapport aux besoins, toute action visant à réduire les intrants au niveau de l'animal ou du rumen aura pour conséquence une réduction des rejets.

Ainsi, tant en azote qu'en minéraux, la maîtrise de la complémentation (nature, quantité) reste un moyen technique efficace pour diminuer les rejets. En terme de rationnement azoté, il s'agit alors de satisfaire les besoins PDI de l'animal et de viser l'équilibre PDIE=PDIN (Vérité, 1991). Un excès d'apport PDIN de 200 g/j induit un accroissement des rejets azotés de 18 kg/vache et /an sans modifier les performances de l'animal (Peyraud et al, 1995). Pour réduire l'excrétion fécale de phosphore, il convient de limiter la complémentation en phosphore d'origine minérale (réalisée avec du phosphore très disponible) à la couverture du besoin non satisfait par les apports de phosphore de la ration (fourrages et aliments concentrés)

Certains fourrages, notamment l'herbe conservée ou pâturée, sont excédentaires en azote. Cet excédent est lié à leur physiologie particulière (légumineuses) ou à l'utilisation de l'azote comme facteur de production par hectare (fertilisation). L'association en ration mixte de fourrages complémentaires dans leur rapport énergie/azote permet alors de corriger ces défauts et contribue à réduire les rejets azotés. La réduction de la fertilisation azotée des prairies est parfois envisageable et sera efficace à double titre. En effet, cette réduction d'intrants N agit à la fois sur les rejets N par animal sous l'effet de la réduction de la teneur en N du fourrage et sur les rejets N par hectare sous l'effet de la baisse de productivité des prairies. Mais un tel choix doit être raisonné en intégrant les conséquences possibles sur les performances animales (par vache ou par hectare) et l'équilibre du système fourrager (Le Gall et al, 1997). En élevage laitier, la gestion des rejets N, P et K du troupeau est impérativement solidaire des surfaces fourragères utilisées à la fois pour nourrir le troupeau et valoriser les éléments fertilisants issus des déjections animales

Conclusion

L'estimation des flux N, P et K des vaches laitières a permis de prendre en compte le facteur de variation très important que constitue le système d'alimentation du troupeau. Cette brochure comporte trois niveaux d'approche de ces flux.

1/ le tableau 5 fournit directement les flux annuels pour une sélection de systèmes d'alimentation et de niveaux de production,

2/ le paragraphe 2.2 et le tableau 4 permettent d'estimer rapidement les flux mensuels pour la plupart des systèmes fourragers et d'alimentation rencontrés en production laitière,

3/ les tableaux 2 et 3 présentent les données de base et les hypothèses de calcul définies dans l'état actuel de nos connaissances.

En exploitation, il est désormais possible d'intégrer l'effet de l'alimentation et de la conduite du troupeau dans la quantification des rejets du troupeau, donc des éléments fertilisants restitués au champ. A l'échelle d'un bassin versant ou de toute autre aire géographique, le bilan N, P et K pourra être calculé à condition de disposer d'informations sur la composition moyenne des rations en période de pâturage et de stabulation et sur la durée de ces séquences alimentaires. La méthode de calcul tient compte à la fois du type de régime, des sites de restitutions et du niveau de production des animaux. Elle permet également de souligner le lien indissociable qui existe entre les systèmes d'alimentation des ruminants et la surface mise en œuvre pour leur réalisation, surface qui assure dans le même temps une fonction de recyclage efficace des rejets induits par l'animal.

Figures et tableaux

Figure 1 : Principaux facteurs de variation des rejets N, P et K chez la vache laitière

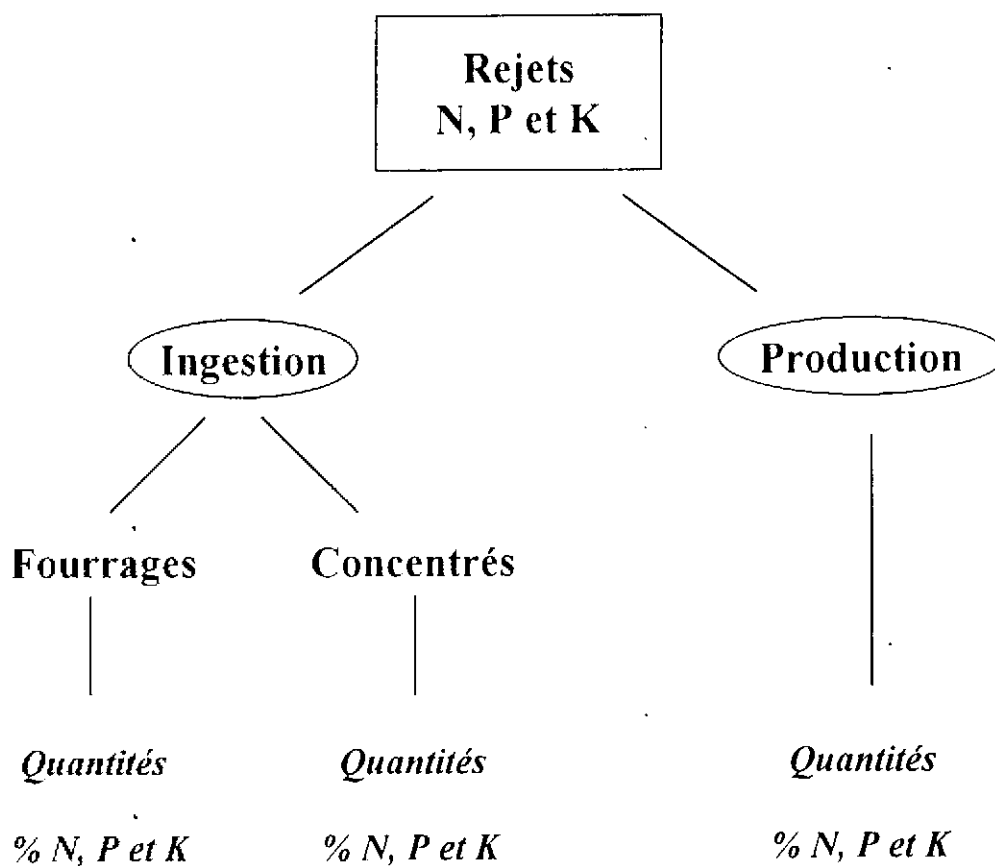


Tableau 1: Composition chimique des aliments utilisés lors du calcul des rejets N, P et K.

Teneur (g/kg MS)	N	P	K
Ensilage de maïs	13,1	2,0	10,0
Herbe conservée (1)	24,0	3,4	20,0
Herbe verte	28,8	4,0	30,0
Concentré énergétique	18,4	3,1	6,0
Concentré azoté	83,2	7,8	25,0

(1) Ensilage, foin ou autres fourrages conservés à base d'herbe

Tableau 2 : Quantités mensuelles d'éléments N, P et K excrétées par une vache laitière (6000 kg lait/an) selon la nature du fourrage constituant la ration de base.

En kg /mois	N	P	K
E. Maïs	6,7	1,3	4,7
H. Conservée	9,1	1,4	7,7
H. Verte	11,2	1,5	13,5

Pour exprimer les résultats en équivalent P_2O_5 et K_2O , multiplier les valeurs par 2,29 et 1,20 respectivement

Tableau 3 : Répartition (en %) des déjections selon le site d'alimentation et le type de régime.

Type de régime Site d'alimentation	Fourrages conservés	Mixte	Pâturage
Intérieur * (%)	100	65	15
Extérieur (%)	0	35	85

* 30 % de l'azote émis à l'intérieur est ensuite considéré comme volatilisé au cours de la collecte et du stockage avant épandage. Ce taux de perte ne s'applique pas sur les restitutions extérieures.

*Estimation des flux d'azote, de phosphore et potassium
associés aux vaches laitières et à leur système fourrager
CORPEN - Novembre 1999*

Tableau 4 : Principes d'utilisation

Après avoir défini mois par mois les séquences d'alimentation (type de régime, site d'alimentation) des vaches laitières et l'effectif moyen annuel du troupeau, le calcul consiste simplement à multiplier la durée (en mois) de chaque séquence alimentaire par les quantités mensuelles éléments N, P et K rapportées au tableau 4 et correspondant au régime alimentaire considéré. Ces quantités annuelles par vaches sont ensuite à multiplier par l'effectif moyen du troupeau de vaches laitières.

Le tableau 4 permet ainsi de calculer directement :

les quantités N, P et K totales émises qui correspondent à la somme des colonnes "Intérieur" et "Extérieur".

les quantités N, P et K collectées épanchables à partir de la colonne "Epanchable après stockage"

les quantités N, P et K épanchables après stockage ou directement épanchées qui correspondent à la somme des colonnes "Extérieur" et "Epanchable après stockage"

les quantités N, P et K exportées à partir de la colonne "Exporté par les fourrages consommés"

Exemple:

40 vaches à 6000 kg de lait, alimentées 6 mois en stabulation avec de l'ensilage de maïs, 4 mois au pâturage et 2 mois avec une ration mixte (50/50) composée d'ensilage de maïs et d'herbe pâturée.

Quantités totales émises par vache:

$$N : 6 \text{ mois} \times 6,7 + 4 \text{ mois} \times (1,7 + 9,5) + 2 \text{ mois} \times (5,8 + 3,1) = 102,8 \text{ kg}$$

$$P : 6 \times 1,3 + 4 \times (0,2 + 1,3) + 2 \times (0,9 + 0,5) = 16,6 \text{ kg}$$

$$K : 6 \times 4,7 + 4 \times (2,0 + 11,5) + 2 \times (5,9 + 3,2) = 100,4 \text{ kg}$$

Quantités collectées épanchables par vache:

$$N : 6 \text{ mois} \times 4,7 + 4 \text{ mois} \times 1,2 + 2 \text{ mois} \times 4,1 = 41,2 \text{ kg}$$

$$P : 6 \times 1,3 + 4 \times 0,2 + 2 \times 0,9 = 10,4 \text{ kg}$$

$$K : 6 \times 4,7 + 4 \times 2,0 + 2 \times 5,9 = 48,0 \text{ kg}$$

Quantités totales restituées au champ par vache (collectées épanchables ou directement épanchées au pâturage):

$$N : 6 \text{ mois} \times 4,7 + 4 \text{ mois} \times (1,2 + 9,5) + 2 \text{ mois} \times (4,1 + 3,1) = 85,4 \text{ kg}$$

$$P : 6 \times 1,3 + 4 \times (0,2 + 1,3) + 2 \times (0,9 + 0,5) = 16,6 \text{ kg}$$

$$K : 6 \times 4,7 + 4 \times (2,0 + 11,5) + 2 \times (5,9 + 3,2) = 100,4 \text{ kg}$$

Quantités exportées par les fourrages consommés par vache :

$$N : 6 \text{ mois} \times 5,6 + 4 \text{ mois} \times 13,7 + 2 \text{ mois} \times 9,7 = 107,8 \text{ kg}$$

$$P : 6 \times 0,9 + 4 \times 1,9 + 2 \times 1,4 = 15,8 \text{ kg}$$

$$K : 6 \times 4,3 + 4 \times 14,3 + 2 \times 9,3 = 101,6 \text{ kg}$$

Pour le troupeau de 40 vaches laitières, ces quantités calculées par vache sont à multiplier par l'effectif du troupeau.

Si le niveau de production moyen du troupeau est différent de 6000 kg de lait, les quantités annuelles sont ensuite à multiplier par 1,05 pour N et P et 1,015 pour K par tranche de 1000 kg de lait en plus ou en moins.

Tableau 4 : Variations avec le régime alimentaire et le site de restitution des quantités mensuelles d'éléments N, P et K excrétées et épandables issus d'une vache laitière (6000 kg lait/an) vs la capacité de valorisation des surfaces fourragères.

(kg/mois)	Intérieur			Extérieur			Épandable après stockage			Exporté par les fourrages consommés		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Stabulation exclusive												
E. Mais 100 %	6,7	1,3	4,7				4,7	1,3	4,7	5,6	0,9	4,3
H. Conservée 100 %	9,1	1,4	7,7				6,4	1,4	7,7	9,2	1,3	7,7
E. Mais 75 %	7,3	1,3	5,4				5,1	1,3	5,4	6,5	1,0	5,1
H. Conservée 25 %												
E. Mais 50 %	7,9	1,3	6,2				5,5	1,3	6,2	7,4	1,1	6,0
H. Conservée 50 %												
E. Mais 25 %	8,5	1,3	6,9				6,0	1,3	6,9	8,3	1,2	6,8
H. Conservée 75 %												
Pâturage exclusif ou dominant (85% des restitutions à l'extérieur)												
H. Pâturée (+/- fourrages associés)	1,7	0,2	2,0	9,5	1,3	11,5	1,2	0,2	2,0	13,7	1,9	14,3
Stabulation et Pâturage (35% des restitutions à l'extérieur)												
E. Mais 50 %	5,8	0,9	5,9	3,1	0,5	3,2	4,1	0,9	5,9	9,7	1,4	9,3
H. Pâturée 50 %												
E. Mais 75 %	5,1	0,9	4,5	2,7	0,5	2,4	3,6	0,9	4,5	7,6	1,1	6,8
H. Pâturée 25 %												
H. Conservée 50 %	6,6	0,9	6,9	3,6	0,5	3,7	4,6	0,9	6,9	11,5	1,6	11,0
H. Pâturée 50 %												
H. Conservée 75 %	6,3	0,9	6,0	3,4	0,5	3,2	4,4	0,9	6,0	10,3	1,5	9,3
H. Pâturée 25 %												

E. Mais : Ensilage de maïs ; H. Conservée : Herbe conservée ; H. Pâturée : Herbe pâturée

Pour exprimer les résultats en équivalent P_2O_5 et K_2O , multiplier les valeurs par 2,29 et 1,20 respectivement

Tableau 5 : Quelques exemples de quantités d'éléments N, P et K épandables après stockage (+ épandus au pâturage) par vache et par an selon le système d'alimentation et le niveau de production du troupeau (en kg/an/vache)

Régime / Répartition	Niveau de production	Epandable (+ épandus directement si pâturage)			Exportées (*)		
		N	P	K	N	P	K
E maïs (6 mois) - E maïs + H cons 50/50 (6 mois) [Exemple 1]	6000	61 (+ 0)	16 (+ 0)	65 (+ 0)			
	7500	66 (+ 0)	17 (+ 0)	66 (+ 0)	78	12	62
	9000	71 (+ 0)	18 (+ 0)	68 (+ 0)			
E maïs (3 mois) - E maïs + H pât 50/50 (2mois) - H pât (7 mois)	6000	31 (+73)	7 (+10)	40 (+87)			
	7500	33 (+78)	8 (+11)	41 (+89)	132	19	132
	9000	36 (+84)	8 (+12)	42 (+91)			
E maïs + E cons 75/25 (5 mois) - H pât (7 mois)	6000	34 (+66)	8 (+9)	41 (+80)			
	7500	37 (+71)	9 (+10)	42 (+82)	101	18	126
	9000	39 (+76)	9 (+10)	43 (+84)			
E maïs (6 mois) - H pât (6 mois)	6000	35 (+ 57)	9 (+ 8)	40 (+ 69)			
	7500	38 (+ 61)	10 (+ 9)	41 (+ 71)	116	17	112
	9000	40 (+ 66)	10 (+ 9)	42 (+ 72)			
E maïs + H cons 25/75 (6 mois) - H pât (6 mois)	6000	43 (+ 57)	9 (+ 8)	53 (+ 69)			
	7500	46 (+ 61)	10 (+ 9)	54 (+ 71)	132	19	127
	9000	49 (+ 66)	10 (+ 9)	55 (+ 72)			
E maïs + H cons 75/25 (7 mois) - H pât (5 mois) [Exemple 2]	6000	42 (+ 48)	10 (+ 7)	48 (+ 58)			
	7500	45 (+ 52)	11 (+ 8)	49 (+ 59)	114	16	107
	9000	48 (+ 55)	12 (+ 8)	50 (+ 61)			
H cons (6 mois) - H pât (4 mois) - E maïs + H pât 75/25 (2 mois)	6000	50 (+ 43)	11 (+ 6)	63 (+ 51)			
	7500	54 (+ 46)	12 (+ 6)	64 (+ 52)	125	18	117
	9000	57 (+ 49)	13 (+ 7)	66 (+ 53)			
E maïs (6 mois) - H pât (3 mois) - H cons + H pât 50/50 (3 mois)	6000	46 (+ 39)	11 (+ 5)	55 (+ 46)			
	7500	49 (+ 42)	12 (+ 5)	56 (+ 47)	109	16	102
	9000	53 (+ 45)	13 (+ 6)	57 (+ 48)			

Les valeurs entre parenthèses correspondent aux quantités totales d'éléments N, P ou K directement restituées sur les prairies dans le cas des systèmes d'alimentation avec pâturage.

(*) Les quantités d'éléments exportées par les cultures fourragères consommées par les troupeau ne varient pas avec le niveau de production des vaches laitières.

Pour exprimer les résultats en équivalent P_2O_5 et K_2O , multiplier les valeurs par 2,29 et 1,20 respectivement

Estimation des flux d'azote, de phosphore et potassium associés aux vaches laitières et à leur système fourrager
CORPEN - Novembre 1999

Annexe : Quelques définitions caractérisant les flux N, P et K

- Quantités totales émises ou excrétées:** Correspond aux quantités totales de déjections produites par l'animal sans aucune perte et sans préjuger du site de restitution.
- Quantités émises à l'intérieur ou collectées:** Correspond aux quantités totales de déjection produites par l'animal en bâtiment et sur les aires de collecte en ne supposant aucune perte. S'oppose aux quantités **non collectées** émises au pâturage.
- Quantités épandables après stockage:** Correspond aux quantités de déjections émises à l'intérieur et restant disponibles après stockage, au moment de la reprise pour épandage. Elles sont égales aux quantités collectées diminuées des pertes à la collecte et au stockage ; pour l'élément N, les pertes sont égales à 30% des quantités émises à l'intérieur.
- Quantités restituées directement au pâturage:** Correspond aux quantités totales de déjections émises directement au pâturage (éventuellement fonction de la durée journalière de séjour sur la prairie) donc sans perte liée au stockage.
- Quantités totales restituées au champ:** Correspond à la somme des quantités épandables par l'éleveur après stockage et des quantités restituées directement au pâturage par l'animal.
- Capacité d'exportations ou quantités valorisables:** Capacité des cultures fourragères à utiliser les éléments fertilisants contenus dans les déjections restituées au champ. Elle est supposée égale aux quantités d'éléments N, P et K contenues dans les fourrages produits sur l'exploitation et consommés par l'animal. Le terme 'capacité de valorisation' est une notion de potentiel ; elle ne signifie pas pour autant qu'une telle quantité d'élément restituée par les déjections sera effectivement valorisée puisque les pratiques agronomiques et les fertilisations minérales sont à considérer.

Flux	Déjections			Cultures fourragères
	Emission ou Excrétion	Pertes au stockage	Restitution au champ	
Bâtiments - aires (Intérieur)	collectées	→ 30 % N →	épandables	→ capacité d'exportation ou quantités valorisables
Pâturage (Extérieur)	non collectées	→	directes	

Références bibliographiques

Delaby L, Peyraud JL, Vérité R, 1995. Influence du niveau de production laitière et du système d'alimentation sur les rejets azotés du troupeau. Renc. Rech. Ruminants, 2, 349-354.

Dolle JB, Capdeville J, 1998. Emission d'ammoniac dans les bâtiments vaches laitières à ventilation naturelle. Renc. Rech. Ruminants, 5, 291-295.

INRA, 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. 476 p. R. Jarrige éd, Paris (France)

INRAtion, 1994. Logiciel d'aide au rationnement. Travail collectif coordonné par J. Agabriel. Ed. ENESAD-CNERTA 21000 Dijon, France

Le Gall A, Legarto J, Pflimlin A, 1997. Place du maïs et de la prairie dans les systèmes fourragers laitiers. Fourrages, 150, 147-170.

Legarto J, 1998. Systèmes de production bovin laitier et environnement. Compte-rendu Institut de l'Élevage-ARPEB, 26 pages.

Peyraud JL, Vérité R, Delaby L, 1995. Rejets azotés chez la vache laitière: effets du type d'alimentation et du niveau de production des animaux. Fourrages, 142, 131-144.

Sommer SG, Hutchings NJ, 1997. Components of ammonia volatilization from cattle and sheep production. In *Gaseous nitrogen emissions from grasslands*. CAB International. 79-93.

Vérité R, 1991. Maîtrise des rejets azotés issus de l'élevage bovin. Possibilités d'action à travers l'alimentation. PLM, 208, 140-146