



FACULTE DE MEDECINE VETERINAIRE
DEPARTEMENT DES PRODUCTIONS ANIMALES
SERVICE DE NUTRITION

Productions de viande et de lait en prairie. Effets du chargement et de la fertilisation azotée minérale sur les performances animales et sur le cycle de l'azote.

Meat and milk production from grass. Effect of stocking rate and mineral nitrogen fertilisation on animal performance and nitrogen cycle.

Francisco DIEGUEZ CAMERONI

**THESE PRESENTEE EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE DE
DOCTEUR EN SCIENCES VETERINAIRES**

ANNEE ACADEMIQUE 2007-2008

Un voyage de mille lieues commence toujours par un premier pas.

Lao-Tseu

Remerciements

Je voudrais remercier Mr le Professeur Jean-Marie Godeau pour avoir permis mon premier séjour en Belgique grâce à une bourse ALFA, Mr le Professeur Louis Istasse pour m'avoir accueilli au sein du Service de Nutrition et Mr Jean-Luc Hornick pour sa patience. Je remercie aussi Mr Hermes Morales et à l'Instituto Plan Agropecuario (Uruguay) pour leur encouragement.

Merci aussi à la Fondation Seghers pour avoir facilité mon retour en Belgique et à l'Université de Liège pour son accueil.

Mes remerciements vont également à mes parents, ma famille, mes amis et à Maria José pour leur soutien constant, et à Mme Isabelle Dufrasne pour être le lien entre un rêve et la réalité.

Table des matières

AVANT-PROPOS	11
I. PREMIÈRE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	13
1. INTRODUCTION.....	15
2. GENERALITES SUR LA PRODUCTION DES RUMINANTS AU PATURAGE	16
2.1.-Cycle de l'azote dans le système prairial.....	16
2.1.1.-Pertes d'azote vers l'atmosphère	19
2.1.1.1.-Volatilisation.....	19
2.1.1.2.-Dénitrification	21
2.1.2.-Lessivage.....	22
2.1.3.-Valorisation de l'azote par les plantes	26
2.1.3.1- Fixation biologique de l'azote	31
2.1.4.-Restitutions d'azote à la prairie.....	33
2.2.-Digestion et métabolisme protéique en relation avec les teneurs en urée dans le plasma et le lait.....	36
2.3.-Efficience d'utilisation de l'azote	40
3. INFLUENCE DU CHARGEMENT SUR LES PERFORMANCES PHYTOTECNIQUES ET ZOOTECHNIQUES.....	42
3.1.-Définition du chargement	42
3.2.-Chargement et disponibilité de l'herbe	42
3.3.-Chargement et valeur nutritive de l'herbe	45
3.4.-Chargement et utilisation de l'herbe	46
3.5.-Chargement et performances zootechniques dans la production de viande	46
3.5.1.-Modèles de réponse des performances zootechniques par rapport au chargement	48

3.5.2.-Définition du chargement optimal dans la production de viande.	52
3.6.-Chargement et performances zootechniques dans la production laitière.....	55
3.6.1.-Définition du chargement optimal en production laitière	56
4. INFLUENCE DE LA FERTILISATION AZOTEE SUR LES PERFORMANCES PHYTOTECNIQUES ET ZOOTECHNIQUES.....	58
4.1.-Fertilisation azotée et effet sur les différentes espèces de la prairie	58
4.2.-Fertilisation azotée et disponibilité de l’herbe	60
4.3.-Fertilisation azotée et valeur nutritive de l’herbe	62
4.4.- Fertilisation azotée et composition minérale de l’herbe	63
4.5.-Fertilisation azotée et performances zootechniques en production de viande	67
4.5.1.-Modèles de réponse des performances zootechniques de la production de viande par rapport à la fertilisation azotée	67
4.5.2.-Définition de la fertilisation azotée optimale dans la production de viande.....	69
4.6.-Fertilisation azotée et performances zootechniques dans la production laitière.....	71
4.6.1.-Définition de la fertilisation azotée optimale en production laitière.....	73
5. INFLUENCE DE LA FERTILISATION AZOTEE ET DU CHARGEMENT SUR LES PERFORMANCES PHYTOTECNIQUES ET ZOOTECHNIQUES	74
5.1.-Chargement, fertilisation et paramètres phytotechniques.....	74
5.2.-Chargement, fertilisation et performances animales dans la production de viande	78
5.2.1.-Définition des niveaux optimaux de chargement et de fertilisation dans la production de viande	80
5.3.-Chargement, fertilisation et production laitière	89
5.3.1.-Définition des niveaux optimaux de chargement et de fertilisation en la production laitière	89
6. L’EXTENSIFICATION DE LA PRODUCTION ANIMALE ET SON IMPACT ENVIRONNEMENTAL.....	96

6.1.-Définition de l'extensification	96
6.2.-Mesures relatives à l'extensification.....	97
6.3.-Rejets azotés.....	102
6.4. Bilan azoté.....	103
6.5.-Effet de l'extensification sur les caractéristiques de l'herbe	106
6.6.-Effet de l'extensification sur les performances animales	107
6.7- Effet de l'extensification et la qualité des produits.....	108
II. DEUXIEME PARTIE : EXPÉRIMENTATION.	113
7. JUSTIFICATION DE LA RECHERCHE ET SOMMAIRE.	115
ETUDE 1. Désintensification raisonnée de l'exploitation du pâturage par la vache allaitante Blanc Bleu Belge.	119
ETUDE 2. Incidences phytotechniques et zootechniques d'une réduction ou d'une suppression de la fertilisation azotée sur des prairies pâturées par des vaches laitières. ...	139
ETUDE 3. Less intensified grazing management with growing fattening bulls.....	167
ETUDE 4. Effects of different levels of nitrogen fertilization on performance, nitrogen balance and nitrate contents in soil of pastures grazed by dairy cows and bulls.	195
III. TROISIEME PARTIE : DISCUSSION INTÉGRÉE ET CONCLUSIONS GÉNÉRALES.....	223
8.-DISCUSSION INTEGREE.....	225
8.1.- Introduction.....	225
8.2.- Schémas expérimentaux.....	225
8.3.- Récapitulatif des résultats.	227
8.3.1.-Récapitulatif des résultats phytotechniques.	227
8.3.1.1.- Production primaire des prairies, composition botanique, hauteur de l'herbe et refus.....	227

8.3.1.2.-Composition chimique de l'herbe.....	231
8.3.2.-Récapitulatif des résultats de production animale.....	235
8.3.2.1.-Production à l'hectare et production individuelle.....	235
8.3.2.2.-Qualité des produits.....	238
8.3.2.3.-Urée plasmatique.....	241
8.3.3.-Bilan et reliquats azotés.....	243
8.3.3.1.-Bilan azoté et efficacité d'utilisation d'azote du système.....	243
8.3.3.2.-Nitrates dans le sol.....	247
9.-CONCLUSIONS GENERALES.....	250
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	252

Avant-propos

De nos jours, la production agricole est soumise à certaines restrictions avec l'objectif de contrôler l'impact environnemental et les volumes de production. Ces restrictions ont entraîné des modifications du niveau d'intensification de la production. En ce qui concerne l'élevage des ruminants, le niveau d'intensification est défini par le chargement (animaux/ha) et la fertilisation minérale (kg/ha). La réforme de la Politique Agricole Commune (PAC) en 1992 a instauré des « méthodes de production agricole compatibles avec les exigences de la protection de l'environnement ainsi que l'entretien de l'espace naturel » (Règlement (CEE) N° 2078/92 du Conseil du 30 juin 1992, J.O.C.E. N°L 215 du 30/7/92 ; MRW, 1997). La réduction du niveau d'intensification de la production se trouvait parmi ces mesures. En élevage viandeux, elle était encouragée par l'octroi de primes aux éleveurs ne dépassant pas un seuil de chargement de 2 UGB/ha. Ces primes permettaient de compenser la perte de production due à la réduction du niveau d'intensification. De plus, des primes à l'extensification pouvaient être obtenues pour les chargements inférieurs à 1,4 UGB/ha. Ces mesures, conjointement au système des quotas, ont permis de maîtriser aussi le volume de la production à grande échelle.

Actuellement, suite au principe du découplage décidé lors de la réforme à mi parcours de l'Agenda 2000 en juin 2003 et qui correspond aux dernières réformes de la PAC, l'octroi de primes n'est plus lié au volume des productions, mais bien à la surface. Chaque exploitant doit disposer de « droits » qu'il doit activer en justifiant les superficies correspondantes. Ces droits sont calculés sur base des superficies et des animaux qui ont donné lieu à un paiement d'aides directes au cours des années de références 2000, 2001 et 2002. Une fois les droits justifiés et un ensemble de conditions appelées « conditionnalité », liées à l'environnement (Directive Nitrates), à la sécurité alimentaire et au bien-être des animaux, respectés, l'exploitant pourra obtenir le « paiement unique ». Les Etats Membres peuvent choisir de découpler certaines productions comme c'est le cas pour les vaches allaitantes en Belgique.

De plus, les règlements liés à la « Directive Nitrates » ont permis de mieux prendre en compte les effluents d'élevage et ont provoqué une diminution de la fertilisation azotée susceptible de diminuer la production, l'azote étant le premier minéral limitant pour la croissance végétale.

Cependant, dans les prairies pâturées, on constate souvent un bilan azoté positif. L'azote en excès est susceptible de sortir du système en étant lessivé sous forme de nitrate avec un risque de pollution environnementale. La réduction de l'intensification de la production obtenue soit par une réduction de la fertilisation azotée soit par la réduction du chargement ou les deux facteurs conjugués, peut provoquer une diminution des déjections déposées sur les parcelles et une réduction du bilan azoté. On peut ainsi obtenir une réduction de la pollution des eaux (notamment par les nitrates) ainsi que les émissions des composants azotés volatils (ammoniac et oxyde nitreux).

Les résultats d'une série d'essais menés pendant six années consécutives sur des prairies pâturées par les principaux types de spéculation bovine, la vache allaitante, la vache laitière et le taurillon, sont présentés et discutés dans cette thèse. Le fil conducteur des essais a été un protocole semblable dans ces trois spéculations. Ce protocole visait à comparer d'une part, la réduction de 33% de la fertilisation azotée sans réduction du chargement et d'autre part, le rapport entre ces deux systèmes et un système sans apport d'azote minéral. Les paramètres étudiés ont été les performances zootechniques, phytotechniques, le bilan azoté et, pour les spéculations des vaches laitières et des taurillons, les reliquats azotés dans le sol. En plus, dans la spéculation "taurillon", les trois lots soumis au pâturage ont été comparés à un lot engraisé en stabulation.

Ce travail présente, dans une première partie bibliographique, les effets de la fertilisation et du chargement sur les performances individuelles et à l'hectare, ainsi que les effets sur l'herbe et le cycle de l'azote en prairie. La seconde partie expose les résultats expérimentaux, présentés sous forme d'articles acceptés ou soumis pour publication à des revues scientifiques. La troisième partie vise d'abord à discuter sous une forme intégrée les résultats observés et termine ensuite ce travail en récapitulant les principales conclusions à travers tous les essais.

I. PREMIÈRE PARTIE : Revue bibliographique

1. INTRODUCTION

L'effort considérable réalisé en Europe durant les années 50 et 60 pour rendre l'agriculture plus productive s'est accompagné d'une spécialisation marquée des productions laitières et viandeuses bovines ainsi que d'une intensification des systèmes de production correspondants. La terre étant le facteur de production le plus rare et souvent le plus cher, l'intensification a surtout été réalisée par une augmentation de la productivité des surfaces exploitées (production/ha). Ce résultat a été obtenu grâce à des quantités accrues d'intrants, et par la mise au point de modes d'élevage et de techniques de production de plus en plus élaborés. L'engraissement intensif des veaux de boucherie et des taurillons en sont les exemples types (Menissier, 1990).

Jusqu'il y a peu, en raison d'une démographie déclinante de la population agricole, d'une saturation des principaux débouchés des produits agricoles et d'origine animale, et d'une nécessité de contenir les coûts de ces produits, l'extensification des systèmes de production agricole est considérée comme une des solutions possibles au plan de la politique agricole pour réguler l'offre et les marchés, maintenir le revenu agricole et maîtriser l'aménagement du territoire et la gestion de l'environnement (Keane et Allen, 1999). Les productions utilisatrices d'herbe, comme la production de viande bovine, sont directement concernées par cette extensification (Menissier, 1990). Il convient alors d'exploiter des systèmes de production qui valorisent plus de surfaces herbagères et réduisent simultanément les coûts de production directs (Delaby et al., 1992). La Politique Agricole Commune a favorisé ces systèmes plus extensifs au travers de primes aux troupeaux allaitants, aux bovins mâles, et à travers les mesures agro environnementales (Micol et al., 1997).

Les changements des conditions techniques de production agricole dans l'Union Européenne, par l'imposition des quotas et la nécessité de réduire les intrants, a conduit à une réduction de l'utilisation de la fumure azotée. Cette tendance n'est pas seulement appuyée par les changements des politiques de production mais aussi par les effets nocifs des productions intensives sur l'environnement (Peyraud et Astigarraga, 1998). La responsabilité de l'agriculture moderne dans l'accroissement de la pollution des eaux par les nitrates et les phosphates puis par les produits phytosanitaires a été largement étudiée au cours de ces vingt

dernières années (Le Gall et al., 1998), particulièrement au niveau de la teneur en nitrates des eaux et des émissions des gaz azotés dans l'atmosphère (Stevens, 1999).

Avec une production agricole dite extensive, on ne cherche plus à atteindre la production maximale permise par les potentialités du milieu. On cherche une production optimale compatible avec un objectif différent, collectif (production, utilisation du territoire, environnement) et/ou individuel (travail, pluriactivité, qualité et valorisation des produits, agrandissement, entretien du territoire, qualité de vie...) (Micol et al., 1997).

Du point de vue de la qualité de produits, la désintensification de la production par une réduction de la fertilisation azotée, comme la définit Grenet et al. (1995), a été peu étudiée. Chez les vaches laitières, la réduction de la fertilisation azotée peut réduire la teneur en urée du sang et du lait, ce qui peut favoriser le processus de fabrication de certains fromages (Martin et al., 1997). D'un autre côté, l'urée du lait peut rendre le lait plus stable à la chaleur et favoriser le processus de stérilisation (Mottar et De Vilder, 1979). L'extensification de la production par la réduction du chargement pourrait affecter certains paramètres tels que la couleur, la luminosité de la viande et la composition en acides gras, ce qui peut affecter sa saveur (Priolo et al., 2000).

Ce travail étudie les possibilités de réduction de l'intensification du pâturage par des vaches allaitantes, des vaches laitières et des taurillons en considérant les interrelations complexes observées dans l'axe sol - plante - animal des systèmes de pâturage.

2. GENERALITES SUR LA PRODUCTION DES RUMINANTS AU PATURAGE

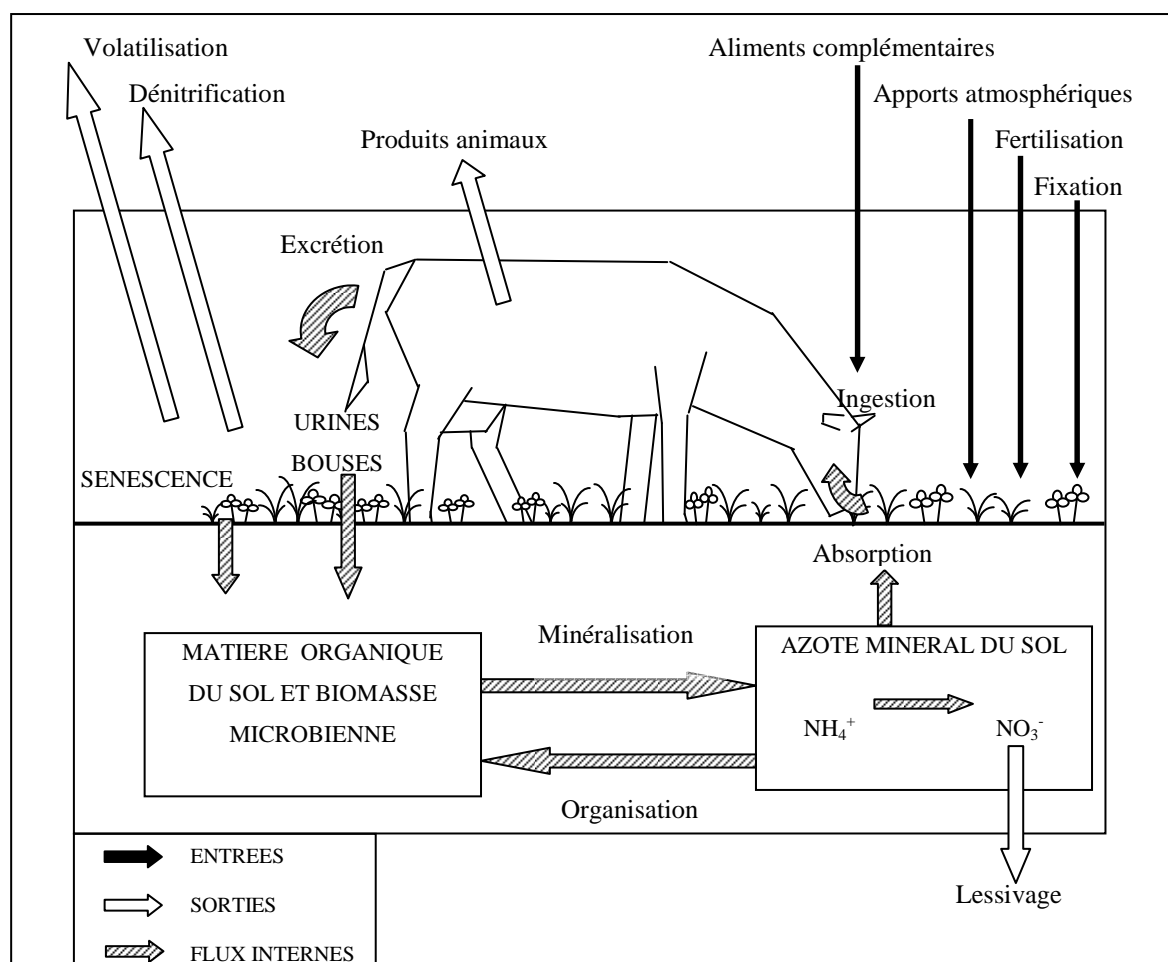
2.1.-Cycle de l'azote dans le système prairial

Le cycle de l'azote en prairie pâturée se résume à un ensemble de flux entre les trois pools du système : le sol, la plante et l'animal (Delaby *et al.*, 1997).

Les principales sources d'azote de l'herbe pâturée sont l'azote ammoniacal provenant de l'humus, l'apport d'azote minéral par la pluie, la fixation d'azote par les racines des légumineuses, l'azote des bouses et pissats, et l'azote minéral et organique de la fumure (Dufrasne *et al.*, 1998). Les intrants d'azote incluent les matières azotées des aliments complémentaires.

Les sorties impliquent des pertes d'azote par volatilisation, par dénitrification, par lessivage, par les produits animaux et par la récolte des produits végétaux. Les matières fécales et urines des animaux, ainsi que les processus d'échange d'azote entre la fraction minérale et la fraction organique du sol, sont compris dans les flux internes du système (Simon *et al.*, 1997). La figure 1 montre schématiquement le cycle de l'azote en prairie pâturée.

Figure 1 : Le cycle de l'azote en prairie pâturée.



(d'après Simon *et al.*, 1997).

Le bilan azoté d'une prairie pâturée peut être exprimé selon la relation suivante (d'après Farruggia *et al.*, 1997) :

Excédent = (fixation + pluie + fertilisation + aliments complémentaires) – (produits animaux + déjections azotées hors parcelle⁽¹⁾ + récolte)

Le pool d'azote immobilisé au niveau de la matière organique du sol peut atteindre des valeurs de 6 à 15 tonnes par hectare. L'azote correspondant à la biomasse microbienne est de l'ordre de 0,8 à 3 tonnes (Simon *et al.*, 1989).

Les termes du bilan «fertilisation», «aliments complémentaires» et «récolte» correspondent à la teneur totale en azote de la fumure, des compléments et du matériel récolté, respectivement (Farruggia *et al.*, 1997). Les quantités apportées par la fertilisation et les compléments et exportées par la récolte dépendent du niveau d'intensification, du type de pâture et de la nature du complément. L'apport d'azote par la fumure peut atteindre des valeurs comprises entre 0 et 400 kg N/ha/an et l'azote exporté pour la fauche peut aller de 200 à 450 kg N/ha/an (Simon *et al.*, 1989).

Les quantités moyennes d'azote fixées (en kg/ha/an) correspondent au produit de la biomasse du trèfle (B ; en kg MS/ha), par le taux moyen de trèfle (%TB), par sa teneur en azote (%NTB) et par son taux de fixation (%TF) (Farruggia *et al.*, 1997).

$$N_{\text{fixé}} = B \times \%TB \times \%NTB \times \%TF$$

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

Selon Simon *et al.* (1989), la quantité d'azote fixée peut varier de 0 à 300 kg N/ha/an.

L'azote exporté dans la viande (en kg/ha/an) peut être calculé à partir de la relation suivante :

$$N_{\text{exporté dans la viande}} = \text{Gain de poids vif} \times 0,024 \text{ ou } 0,032$$

⁽¹⁾ Les déjections hors de 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.

Où le coefficient 0,024 ou 0,032 représentent la proportion d'azote dans le gain de poids pour des animaux laitiers (Simon *et al.*, 1989 , Farruggia *et al.*, 1997) ou des animaux Blanc Bleu Belge dans l'ordre respectif (De Campeneere *et al.*, 2001).

Le dépôt d'azote par les bouses et l'urine apporte normalement une quantité d'azote excédentaire par rapport aux besoins de croissance de l'herbe. Cet azote excédentaire est potentiellement perdu par la volatilisation, le lessivage et la dénitrification. Avec des systèmes intensifs, les pertes d'azote à long terme peuvent être supérieures aux suppléments de production de croissance des graminées (Thomas *et al.*, 1990).

L'azote minéral apporté par la fumure ou l'azote contenu dans les bouses et les pissats va se compartimenter alors entre l'atmosphère où il peut subir des pertes par voie gazeuse, le sol où il peut se stocker ou transiter pour regagner les eaux superficielles et profondes, et les plantes qui peuvent en valoriser une fraction lorsqu'elles sont en croissance. Les différences de devenir entre les types de déjections ont diverses origines dont la nature du produit, les formes d'azote en présence, les concentrations correspondantes, la grande variabilité de ces rejets tant en volume qu'en concentration, et leur répartition très hétérogène sur le sol, localisée dans l'espace sous forme de taches (Simon *et al.*, 1998).

L'azote du système peut alors être perdu vers l'atmosphère ou vers les eaux, par le processus de lixiviation ou lessivage.

2.1.1.-Pertes d'azote vers l'atmosphère

Il existe deux voies principales de pertes d'azote sous forme gazeuse vers l'atmosphère : la volatilisation et la dénitrification. Elles se produisent à partir des formes minérales d'azote provenant des deux types de déjections et de l'azote minéral épandu.

2.1.1.1.-Volatilisation

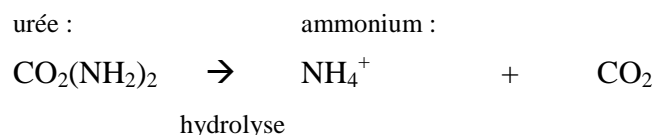
La volatilisation est un processus physico-chimique concernant la forme ammoniacale (NH₃) issue de l'hydrolyse de l'urée. Cette hydrolyse, dont l'intensité est fonction de la température,

est causée par des microorganismes ou par des enzymes thermolabiles du sol (Lumpungu, 1983). Les pertes par volatilisation sont modulées par divers facteurs :

1) *les conditions climatiques* : ces pertes augmentent avec la vitesse du vent et la température de l'air ; elles sont plus élevées si le sol est gorgé d'eau. Par contre, la pluie ou l'irrigation favorise la dilution et l'infiltration de l'azote ammoniacal dans le sol et peut réduire significativement la volatilisation. Il peut y avoir une réduction de 25% du flux total de volatilisation après une pluie de 15 mm dans les 24 heures suivant l'apport ou de 32% dans les premières 48 heures.

2) *les caractéristiques du sol*. Les textures limoneuses apparaissent plus favorables à la volatilisation que les textures sableuses. Les pertes sont également plus élevées sur un sol à pH alcalin (Simon *et al.*, 1998) ou sur un sol dont la capacité d'échange des ions est faible (Lumpungu, 1983).

Dès le dépôt au sol des bouses et pissats ou après l'application d'engrais, l'urée et l'acide urique sont hydrolysés en ammoniac et en dioxyde de carbone sous l'action des enzymes présentes dans les déjections et dans le sol :



Selon Van Horn *et al.* (1996), 40 à 50% de l'azote excrété par les animaux dans les fèces et les urines l'est sous forme d'urée et d'acide urique. La forme ammoniacale, produite par l'hydrolyse de l'urée, est très sensible à la volatilisation. Les pertes d'azote par la volatilisation sont de 7 et 29% de l'azote présent dans les urines et de 2 à 3% de celui présent dans les bouses (Simon *et al.*, 1998). Pour les fumures à base d'urée, les facteurs influençant les pertes par volatilisation sont les mêmes que ceux qui interviennent dans les pertes d'azote d'origine animale, mais il faut ajouter qu'avec d'importantes quantités appliquées, l'engrais à base d'urée peut présenter un effet phytotoxique. C'est le cas lorsqu'il existe une haute concentration d'urée près des semences ou dans un sol portant des jeunes plants, ce qui peut mener à la réduction de la germination et à l'endommagement des racelles (Lumpungu, 1983). Long et Gracey (1990) citent une moindre production de matière sèche de la prairie par

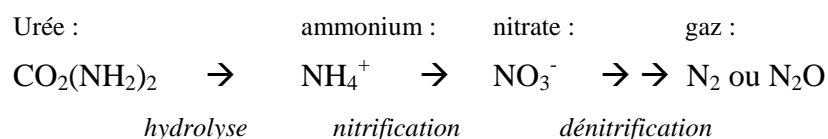
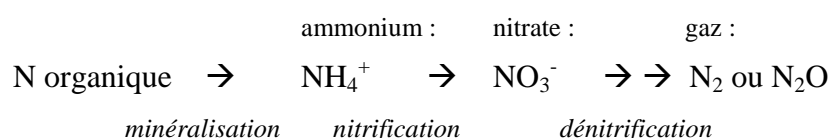
rapport aux autres sources de fumure, due principalement aux pertes par volatilisation de l’ammoniaque et à la phytotoxicité résultant de l’accumulation d’ammoniaque libre après l’hydrolyse de l’urée.

Selon Le Gall *et al.* (1998), les pertes d’azote par volatilisation s’élèvent de 40 à 60 kg N/ha dans les systèmes de production avec une fumure azotée de 120 à 160 kg N/ha/an. Dans des systèmes de production de viande, Simon *et al.* (1989) citent des pertes de 70 et 10 kg N/ha/an, respectivement avec des applications de 400 et 175 kg N/ha, dans des prairies de ray-grass anglais associé au trèfle blanc.

D’après une étude de Erisman *et al.* (2007), les émissions totales d’ammonium vers l’atmosphère par la production de viande et la production laitière peuvent atteindre 24% (8%, 16%, respectivement) des émissions totales de ce gaz. A cela doivent être ajoutées, les émissions dues à l’utilisation de la fertilisation chimique (17%), le restant des émissions étant à attribuer à l’industrie.

2.1.1.2.-Dénitrification

La dénitrification est un phénomène microbien affectant la forme nitrique et se manifestant par une perte de N₂ ou de N₂O (Simon *et al.*, 1998). Les pertes par dénitrification résultent d’une transformation d’une fraction de l’azote des déjections ou des engrais azotés en nitrate, suivie d’une libération de produits gazeux, selon les équations suivantes:



La dénitrification se produit chimiquement en anaérobiose ou en aérobie dans les sols acides et aussi microbiologiquement dans des milieux légèrement acides à légèrement basiques (Lumpungu, 1983).

Les pertes par dénitrification sont faibles aussi bien pour les urines que pour les bouses. Elles sont estimées à 2% de l'azote présent dans ces déjections (Simon *et al.*, 1998). Dans les systèmes de production de viande, les pertes sont estimées à 40 kg N/ha/an avec une application de 400 kg N/ha (Simon *et al.*, 1989).

2.1.2.-Lessivage

Les pertes d'azote par lixiviation concernent la forme nitrée (NO_3^-). Pour qu'elles aient lieu, l'ion nitrate doit être présent dans le sol et associé à un excès hydrique entraînant un flux d'eau transférant cet anion dans le sol et le sous-sol (Simon *et al.*, 1998). Ainsi, les pertes par lixiviation augmentent avec les précipitations (Long et Gracey, 1990). Cependant, après des précipitations abondantes sur des sols lourds, il peut se créer des conditions d'anaérobiose favorisant le processus de dénitrification et augmentant les pertes par cette autre voie (Lumpungu, 1983). La structure du sol influence les pertes par lessivage, au niveau de sa capacité d'échange sol-humus. Dans un sol minéral, la tendance au lessivage des produits ionisés est plus grande. Par contre, les sols plus lourds et riches en humus permettent la formation des complexes qui réduisent le lessivage de certains produits, tels que l'urée (Lumpungu, 1983).

En ce qui concerne les labours de prairies permanentes, des quantités d'azote allant jusqu'à 400 kg/ha peuvent être libérées l'année suivant le retournement. Lorsque le retournement a lieu en automne, l'azote libéré par la minéralisation risque d'être lessivé vers la nappe phréatique au cours de l'hiver. Ceci se produit même si une couverture de sol est implantée très rapidement après le labour. En effet, la croissance de la culture en hiver ne sera pas suffisante pour absorber l'azote minéralisé (Nitrawal, 2008)

Simon *et al.* (1989) citent des pertes par lessivage de 160 et 23 kg N/ha/an avec une fumure azotée de 400 et 175 kg/an, respectivement. Le tableau 1 présente la quantité d'azote lessivé sous forme nitrique ou ammoniacale, avec deux niveaux de fumure azotée appliqués sur une prairie de ray-grass anglais.

Tableau 1 : Lessivage d'azote sous forme nitrique ou ammoniacale, par rapport au niveau de fumure azotée.

Application (Unités/ha)	N250		N750	
	mg/l ⁽¹⁾	kg/ha	mg/l ⁽¹⁾	kg/ha
N-NH ₄ ⁺	0,17	0,23	0,29	0,48
N-NO ₃ ⁻	8,4	11,4	32,8	54,4

(d'après Hood, 1976).

⁽¹⁾ mg N par litre d'eau lessivé des parcelles, récolté dans des lysimètres

Laidlaw *et al.* (2000) ont observé qu'une application de 90 kg N/ha a, en moyenne, augmenté de 2,7 fois le contenu en azote nitrique du sol et de 1,4 fois son contenu en azote ammoniacal, par rapport à l'absence d'application de fumure. Avec des niveaux de fumure azotée supérieurs à 480 kg N/ha, de 25 à 50% de l'azote excédant les besoins des plantes se trouvent sous forme de nitrate dans le sol (Prins, 1984).

Dans le cas des déjections animales, les pertes par lixiviation peuvent être estimées par différence entre l'azote apporté par chaque type de déjection et la somme de ce qui est retrouvé dans les autres compartiments, à savoir l'atmosphère, la plante et le sol (Simon *et al.*, 1998 ; voir tableau 2).

Tableau 2 : Compartimentation de l'azote de l'urine et des fèces, en pourcentage de l'azote présent dans la déjection à l'émission.

Poste	Urine (%)	Fèces (%)
Volatilisation	16	3
Dénitrification	2	2
Prélèvement par la plante	29	9
N organique sol	31	69
Atmosphère + Plante + Sol (A)	78	83
Lixiviation (100-A)	22	17

(d'après la synthèse bibliographique de Simon *et al.*, 1998).

Le tableau 2 indique que les pertes d'azote par lixiviation seraient de l'ordre de 17% de l'azote des bouses et de 22% de l'azote des urines. Mais selon les auteurs, un tel calcul présente l'inconvénient de cumuler les éventuelles erreurs d'estimation sur les autres postes. Il convient donc de considérer ces valeurs avec prudence parce que les résultats expérimentaux obtenus sur terrain (en utilisant des lysimètres) montrent que les pertes d'azote par lessivage sous impacts de bouses sont très faibles. La valeur de 17% est vraisemblablement surestimée à court terme. En ce qui concerne l'azote des urines, des résultats trouvés par Simon *et al.* (1998) montrent une très grande variabilité du lessivage d'azote sous pissats, son importance dépendant en particulier de la date de restitution (printemps, été ou automne) et des quantités totales d'azote mises en jeu via le pissat et la fertilisation azotée de la prairie.

Hood (1976), a observé qu'avec deux niveaux de fumure azotée (250 et 750 kg N/ha/année), de 7,3 à 11,5% de l'azote appliqué ont été lessivés, le restant pouvant être perdu par dénitrification ou immobilisé dans le complexe de matière organique du sol (voir tableau 3).

Tableau 3 : Bilan azoté d'une prairie de ray-grass anglais, comme unique espèce semée, avec deux niveaux de fumure azotée.

<u>Entrées</u>	kg N/ha	
Fumure	250	750
Pluie	10	10
Recyclage : - herbe	23	26
- aliment	94	148
<u>Entrées totales</u>	377	934
<u>Sorties</u>		
Herbe pâturée	167	254
Ensilage	72	106
Lessivage : - profond	11	54
- superficiel	10	32
<u>Sorties totales</u>	260	446
Bilan	+ 117	+ 488

(d'après Hood, 1976)

Selon Le Gall *et al.* (1998), les entrées d'azote dans les exploitations laitières intensives sont de l'ordre de 100 à 200 kg à l'hectare par les engrais ou la fixation symbiotique du trèfle

blanc, et de 50 à 100 kg par les concentrés, alors que les exportations d'azote par le lait représentent de 150 à 200 kg N/ha. Par conséquent, le bilan global de l'azote de ces exploitations est excédentaire de 150 à 200 kg N/ha. Des résultats similaires ont été rapportés par Simon *et al.* (1997). Une partie de cet excédent risque de se retrouver dans l'eau, d'être perdue sous forme gazeuse (ammoniac, oxyde nitreux, azote gazeux) ou d'être fixée dans le pool d'azote humique du sol. La quantité d'azote lessivé atteindrait en moyenne 79 kg N-NO₃/ha/an sur les prairies pâturées, mais elle dépend aussi du type de sol. Dans un système de production laitière appliquant entre 100 et 200 kg N/ha/année et avec un chargement de 1,7 à 2 UGB/ha, cette quantité peut être comprise entre 30 et 40% (30 à 70 kg d'azote nitrique/ha) du solde du bilan, dans les sols filtrants associés à une lame drainante élevée. Mais elle est seulement de 10 à 20 % (15 à 25 kg d'azote nitrique/ha) dans les sols plus limoneux avec un faible volume d'eau drainé. Selon Simon *et al.* (1997) environ 40 à 60 kg N-NO₃/ha sont perdus par an avec des niveaux de fumure azotée de 200 kg N/ha sur des prairies de graminées pures pâturées. Au-delà de 200 kg N/ha, ces pertes ont tendance à augmenter fortement, mais il y a une grande diversité des réponses. Cette variabilité s'explique en grande partie par l'impact des conditions météorologiques sur les divers flux d'azote au niveau de la prairie.

D'après Farruggia *et al.* (1998), le niveau de fertilisation azotée, exprimé en kg d'azote efficace/ha (c'est-à-dire l'azote minéral plus l'azote ammoniacal de l'engrais de ferme) et le nombre de journées de pâturage (JP) apparaissent comme des indicateurs relativement pertinents pour prédire le risque de lessivage de nitrates. On peut situer l'augmentation majeure du risque de lessivage par l'inflexion d'une courbe exponentielle dont le modèle est :

$$y = 5,23 e^{0,0104x}$$

ou « y » est le nombre de kg d'azote lessivé par ha et « x » est le nombre de kg d'N efficace/ha. Le lessivage d'azote répond également à un modèle exponentiel où x est le nombre de jours de pâturage/ha. Les valeurs critiques se situent autour de 500 à 600 JP/ha et 200 à 250 kg Neff/ha.

Farruggia *et al.* (1997) ont observé que la quantité d'azote lessivé sous forme de nitrate est une fonction linéaire de l'excédent de la balance du système. Elle correspond à 40% ou moins de l'azote excédentaire de la balance (voir tableau 4).

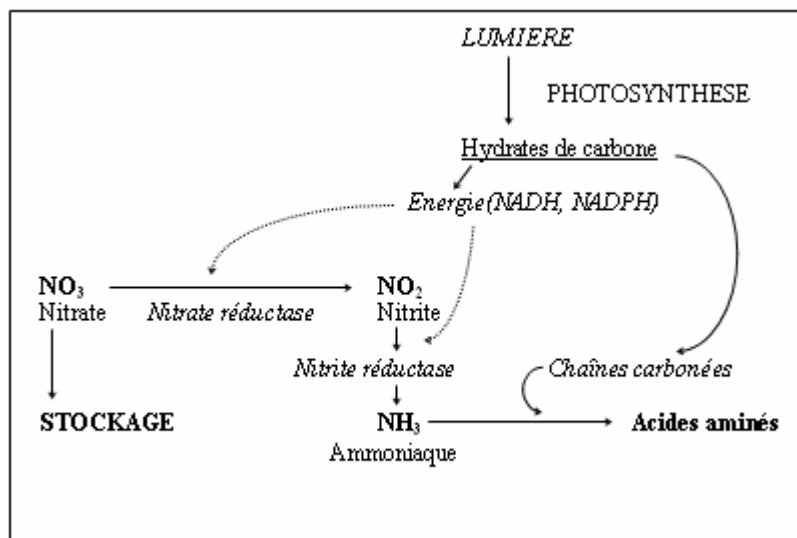
Tableau 4 : Valeurs moyennes des balances azotées de systèmes de production de viande.

Entrées (kg N/ha)			Exportations (kg N/ha)		Balance N excédent	Lessivage	
Fertilisation	Fixation	Aliments	Récolte	Viande		kg N/ha	%
0	80	9		19	21	11	29
31	114		64	13	99	32	31
122			53	12	84	28	36
186	84			20	208	81	40
200			153	12	87	27	32
215			110	25	136	25	19
250				30	220	38	17
281				22	259	53	20
310				21	288	113	39
382				22	359	103	29

(d'après Farruggia *et al.*, 1997).

2.1.3.-Valorisation de l'azote par les plantes

Après hydrolyse de l'urée en sels d'ammonium dans les 1 à 3 jours qui suivent le dépôt d'urine ou de fumure azotée sur le sol, la fraction azotée non perdue par volatilisation peut rester dans le sol sous forme d'ammonium ou être transformée en nitrate, ces deux formes pouvant être absorbées par la plante (Simon *et al.*, 1998). Les plantes ont besoin d'azote ammoniacal comme précurseur de la synthèse protéique. Elles possèdent les enzymes adéquates permettant la réduction des nitrates en ammoniac, en utilisant l'énergie provenant de la photosynthèse. Le processus de réduction se réalise en deux étapes différentes : premièrement, la réduction du nitrate en nitrite par l'enzyme nitrate réductase et, deuxièmement, la réduction du nitrite en ammoniac par la nitrite réductase. Le nitrate est normalement accumulé dans les feuilles, notamment en cas de conditions de faible luminosité. La diminution de la photosynthèse, et donc de la synthèse de composants énergétiques, entraîne une chute de la réduction de nitrate en ammoniac (Benjamin, 1999). La figure 2 présente les étapes de réduction des nitrates en ammoniac.

Figure 2 : Etapes de réduction des nitrates en ammoniacque et devenir de l'ammoniacque dans la plante.(adapté de Oaks *et al.*, 1977)

L'incidence de l'azote d'origine urinaire sur la croissance des plantes est très variable. Elle dépend des quantités apportées par l'urine (via sa concentration et les capacités d'absorption du couvert), de la fumure azotée (l'augmentation de celle-ci réduisant l'utilisation de l'azote des pissats) ainsi que des conditions climatiques. La fraction de l'azote urinaire valorisée au cours de l'année par la plante varie entre 16 à 52%, avec une moyenne d'environ 30%. Les effets des bouses sur la croissance prairiale sont nettement plus limités. Seulement de 8 à 11% de l'azote de la bouse est valorisé par la plante au cours de l'année. La croissance de l'herbe est affectée en périphérie de la bouse sur une surface 5 à 6 fois plus grande que l'impact (0,25 m²). Cet effet est très limité comparativement à celui qui est observé avec l'urine, du fait que l'azote présent dans la bouse est en grande partie organique et que sa transformation en N minéral résulte d'un processus relativement lent. Globalement, l'effet des excréments sur la production prairiale est faible (Simon *et al.*, 1998). Selon Thomas *et al.* (1990), 80% de l'azote ingéré est excrété et 30% de celui-ci est récupéré par la plante.

Dans le cas de l'engrais azoté minéral, Hood (1976) a observé que 43% et 70% de l'azote ont été utilisés par une prairie de ray-grass avec un épandage de 750 et 250 kg N/ha,

respectivement. Holmes (1968) cite des valeurs de 50 à 70% d'utilisation de l'azote appliqué. Laidlaw *et al.* (2000) ont, quant à eux, observé que 88% de l'azote appliqué a été utilisé par l'herbe avec des fumures de 40 kg N/ha.

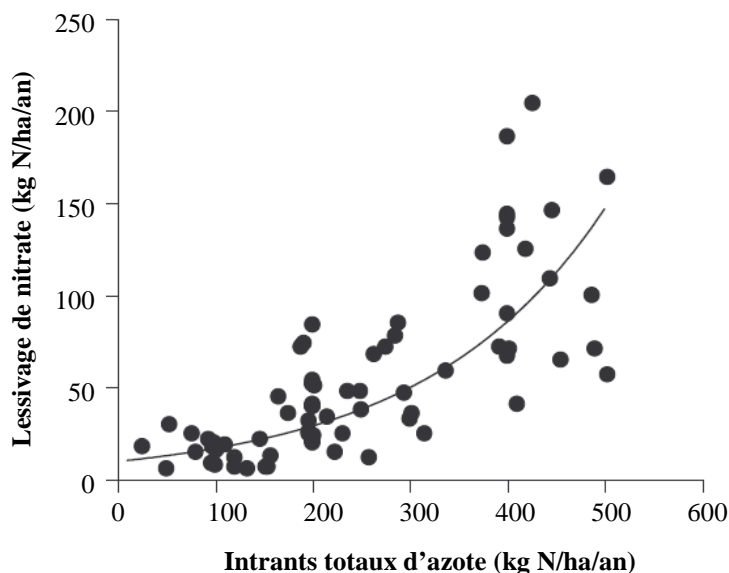
Wilkins *et al.* (2000) ont rapporté une faible efficacité d'utilisation de l'azote au cours des mois (28%). Cependant, la récupération cumulée au cours de l'année (72%) a été supérieure à celle prédite à partir des données mensuelles. Il est évident donc qu'une quantité résiduelle d'azote était potentiellement disponible pour une utilisation ultérieure, bien que cet azote résiduel puisse sortir du système.

D'autre part, l'application de la fumure azotée associée à une baisse du taux de croissance de l'herbe présente les plus grands risques de pertes vers l'atmosphère ou les eaux des nappes phréatiques. Le lessivage d'azote est généralement plus important en dehors de la saison de croissance de l'herbe. Les applications tardives d'automne ou précoces de printemps peuvent augmenter ces pertes. De plus, le pâturage de l'herbe en début ou en fin de saison active peut se traduire par des apports d'azote par les excréments pendant une période où l'utilisation par l'herbe est réduite, conduisant potentiellement à des problèmes environnementaux (Laidlaw *et al.*, 2000).

Il faut considérer aussi que les prairies pâturées recevant d'importants apports d'azote pendant la saison de pâturage accumulent une grande quantité d'azote dans le sol et qu'il peut en découler une réduction de la réponse de la prairie à la fumure azotée et une augmentation des pertes d'azote (Laidlaw *et al.*, 2000).

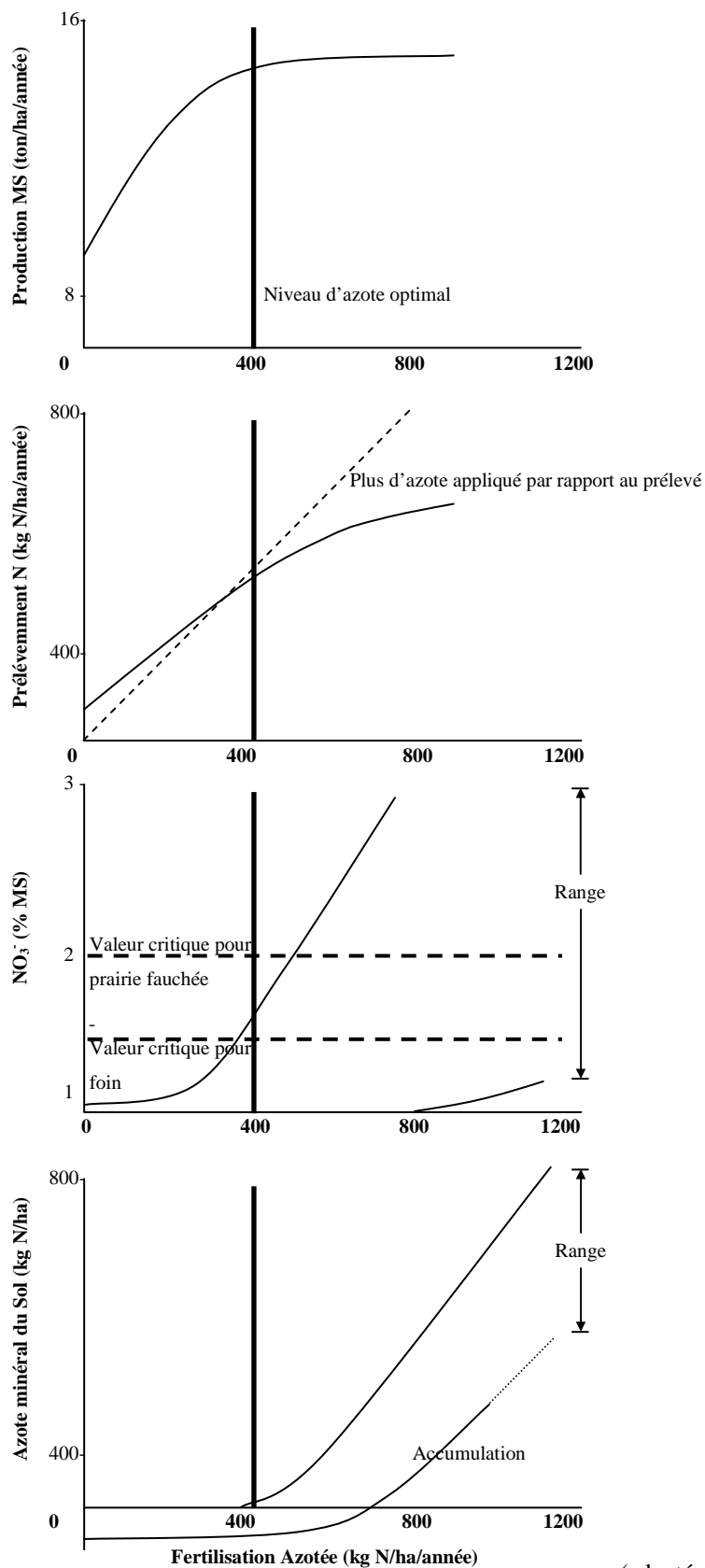
La figure 3a présente la relation entre le lessivage de nitrate et les intrants d'azote total (fertilisation + fixation biologique) dans des systèmes de production de viande en prairie, selon la synthèse bibliographique de Ledgard, citée par Menneer *et al.* (2004). Cette relation montre un accroissement exponentiel du lessivage d'azote sous forme de nitrates par rapport aux intrants totaux d'azote.

Figure 3a : Relation entre le lessivage de nitrate dans des prairies pâturées et les intrants totaux d'azote (fertilisation + fixation biologique) issue de plusieurs travaux expérimentaux (synthèses de Ledgard, citée par Menneer *et al.* (2004)).



La figure 3b présente les résultats d'une étude de Prins (1984) dans laquelle les effets de doses de fertilisation allant de 0 à 1200 kg N/ha/an ont été testés sur le rendement en azote et sur le reliquat azoté. Une dose de 400 kg N/ha/an est considérée comme maximale du point de vue de la production de matière sèche de l'herbe ainsi que de l'utilisation de l'azote par la plante. Au-delà de ce niveau, le risque d'accumulation de nitrates dans le sol est accru.

Figure 3b : Limites de la fertilisation azotée sur des prairies en relation à la production de matière sèche de l'herbe, prélèvement d'azote par les plantes, teneur en nitrates de l'herbe et accumulation d'azote minéral dans le sol dès le début à la fin de la saison.



(adapté de Prins, 1984)

2.1.3.1- Fixation biologique de l'azote

La fixation biologique de l'azote est le processus par lequel l'azote gazeux atmosphérique est inclus dans les protéines après la synthèse des composants minéraux par les bactéries (rhizobium) au niveau des racines des légumineuses, plus spécifiquement dans les nodules formés après la colonisation par les bactéries (Frame, 1992). La quantité d'azote fixé à l'hectare par les légumineuses, notamment par le trèfle, dépend essentiellement de la quantité de ces plantes dans la prairie, du degré de colonisation par des rhizobia et des caractéristiques du sol. Ces facteurs expliquent la grande variabilité de la fixation d'azote à l'hectare rapporté dans la bibliographie. Cette quantité varie de 30 à 50 kg N/ha/an selon Orr *et al.* (1990), de 50 à 150 kg selon O'Riordan (1996) et Farruggia *et al.* (1997), de 110 à 260 kg N/ha/an selon Holmes (1968) et Simpson et Stobbs (1981), et est de 185 kg N/ha d'après Harris et Clark (1996). Gately *et al.* (1984) ont rapporté que la fixation annuelle d'azote est de 139 kg N/ha avec une fourchette de 40 à 220 kg N/ha. Selon Frame (1992), la fixation d'azote par le trèfle est comprise entre 75 et 280 kg N/ha et entre 100 et 150 kg N/ha dans les prairies des vallées et des montagnes du Royaume-Uni respectivement.

D'après Andries *et al.* (1973), on peut admettre que 1% de trèfle blanc correspond à une dose de ± 2 kg N/ha/an. Il existe aussi une fixation d'azote par les microorganismes du sol, mais à un taux réduit, d'environ 20 à 40 kg N/ha/an (Holmes, 1968).

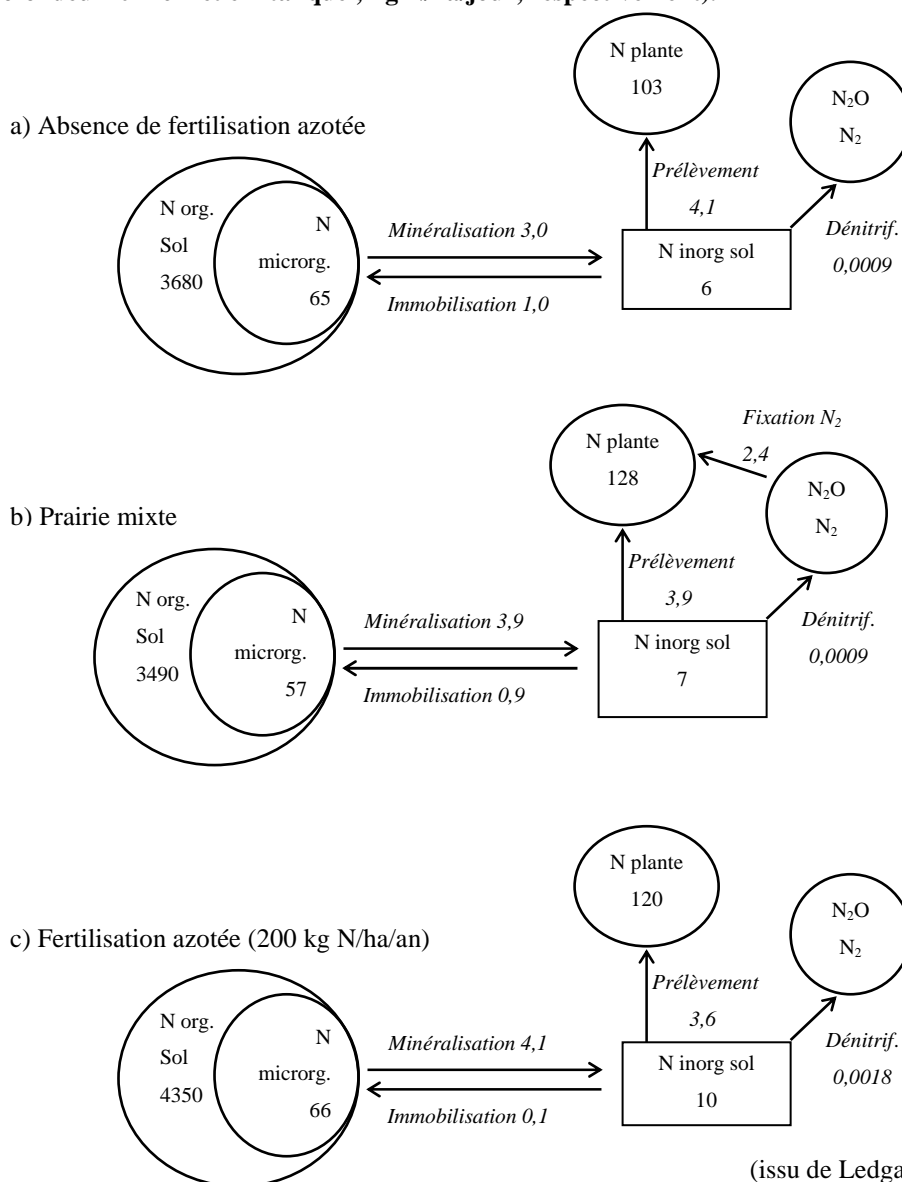
Certains facteurs contribuent à réduire la fixation d'azote des prairies fertilisées. Outre la réduction de la proportion de trèfle, l'utilisation prolongée de fumure azotée réduit la colonisation par les rhizobia et réduit aussi la formation et la croissance des nodules. De plus, l'utilisation d'azote minéral du sol rapidement disponible est un processus énergétiquement moins coûteux que la fixation d'azote atmosphérique. Chaque kg d'azote appliqué réduit de 0,5 kg la fixation d'azote atmosphérique par le trèfle (Harris et Clark, 1996). Malgré la possibilité d'utilisation de l'azote minéral par le trèfle, Davidson et Robson (1990), grâce à des applications de N¹⁵, ont observé que le trèfle prélève moins d'azote provenant de la fumure que le ray-grass (22 vs 46% respectivement), mais le contenu azoté du trèfle a été supérieur à celui du ray-grass en raison de la fixation d'azote atmosphérique. Caradus *et al.* (1993) ont rapporté que rendement du trèfle est réduit par la fumure azotée : la production de

matière sèche passe de 11,8 à 6% avec une fumure de 0 et 225 kg N/ha, respectivement, ce qui entraîne une chute de 30% de la fixation d’azote.

L’utilisation des prairies mixtes de graminées et de légumineuses est intéressante car elle permet de réduire la fumure azotée. Selon Cuttle *et al.* (1992), il y a une moindre perte par lessivage dans les pâtures avec trèfle (10-20%) car il y a moins de fumure.

La figure 4 schématise le flux d’azote dans l’axe sol-plante pour une prairie de ray-grass anglais fertilisée ou non par rapport à une prairie de trèfle.

Figure 4 Compartimentalisation et flux d’azote mesurés au printemps pour deux prairies de ray-grass avec deux niveaux de fumure azotée par rapport à une prairie sans fumure azotée (kg N/ha ; profondeur 0-7 cm et en italique ; kg N/ha/jour, respectivement).



(issu de Ledgard *et al.*, 1998)

Les taux de minéralisation brute de l'azote, similaires pour les prairies mixtes et de ray-grass recevant 200 Kg N/ha/an, ont été de 30 à 35% supérieures à ceux de la prairie ne recevant aucune fertilisation minérale. Ces différences sont le résultat des traitements à long terme de fertilisation minérale ou de la fixation par les légumineuses. La minéralisation nette a été supérieure dans les prairies de ray-grass fertilisées en raison de la quantité ainsi que de la qualité (teneur en azote plus élevée) des résidus végétaux produits et incorporés au sol (racines). Dans les prairies mixtes, les quantités d'azote apportées par la fixation biologique (2,4 kg N/ha/jour) ont été équivalentes à deux tiers des quantités d'azote provenant de la minéralisation. Avec le temps, une partie de l'azote fixé est incorporée au sol (sénescence, excrétion animale) et contribuera au processus de minéralisation. De façon générale, les flux d'azote dans les prairies mixtes ont été intermédiaires à ceux des prairies de ray-grass avec ou sans fertilisation minérale. A long terme, les transformations de l'azote dans ces trois systèmes sont vraisemblablement déterminées par les quantités d'azote entrant dans le système, la forme (fixation vs fertilisation) n'ayant pas une influence importante (Ledgard et al., 1998).

2.1.4.-Restitutions d'azote à la prairie

Au pâturage, les déjections sont essentiellement émises directement sur la parcelle, séparément en bouses et pissats, sur un couvert végétal actif. Leur répartition spatiale est très hétérogène, ce qui crée localement des apports d'azote très élevés au mètre carré. La valorisation de cet azote par le couvert végétal est fonction du potentiel de croissance de la plante mais aussi de la dynamique des restitutions par rapport aux conditions climatiques, notamment de la saison (Vérité et Delaby, 1998). Il arrive parfois que les urines provoquent des effets indésirables sur le couvert prairial par les brûlures qu'elles peuvent occasionner aux plantes. Cet effet résulterait d'un effet toxique des ions ammonium sur les racines ou d'une concentration localement forte des autres minéraux. Les pissats peuvent apporter localement entre 30 et 500 kg N/ha (Vertès *et al.*, 1997). Plusieurs paramètres modulent l'importance de ce phénomène : le type et l'humidité du sol, le niveau de fertilisation azotée de la prairie et les conditions climatiques lors de l'apport. Ainsi, les brûlures ont tendance à augmenter sur des sols humides et pour des températures moyennes de l'air comprises entre 15 et 20°C. Elles

affectent une surface plus importante de la prairie quand le niveau de la fertilisation azotée augmente. Enfin elles sont plus graves sur des sols sableux (Simon *et al.*, 1998).

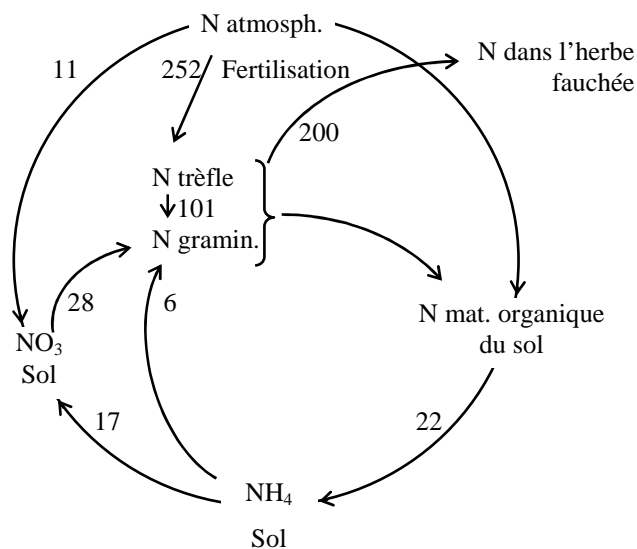
Il y a une très grande diversité des quantités d'azote apportées par les pissats (5 à 60 g N par pissat), et par les bouses (10 g N par bouse) (Simon *et al.*, 1998). Selon Holmes (1968), les matières fécales apportent de 650 à 850 kg et l'urine de 370 à 450 kg d'N/ha/an. Il y a aussi des différences concernant le type d'azote restitué. L'azote de l'urine se trouve en grande partie sous forme d'urée (60 à 93 % de l'azote total). Les autres formes sont essentiellement constituées d'acide hippurique (3,4 à 8,0%), d'allantoïne (2,2 à 11,8%), d'acide urique (0,6 à 1,9%), de créatinine (1,8 à 5,3%) et de créatine (1,3 à 4,1%). Plusieurs paramètres peuvent expliquer les variations de volume ou de teneur en azote des pissats de bovins : le type d'animal (poids, stade physiologique, besoins alimentaires, ...), l'alimentation (teneur en azote, teneur en matière sèche,...), le rythme biologique de l'animal et l'individu (Simon *et al.*, 1998). Dans les bouses, l'azote se trouve essentiellement sous forme organique plus stable que celle des urines.

A long terme dans une prairie permanente, l'azote des bouses contribue à enrichir le sol en azote. Les bouses s'intègrent assez rapidement au sol sous l'action conjointe du climat et de la microfaune du sol. En général, le processus d'intégration au sol s'étale sur une durée de 3 mois. Chez les moutons, 69% des fèces peuvent être stockées dans le sol (Simon *et al.*, 1998).

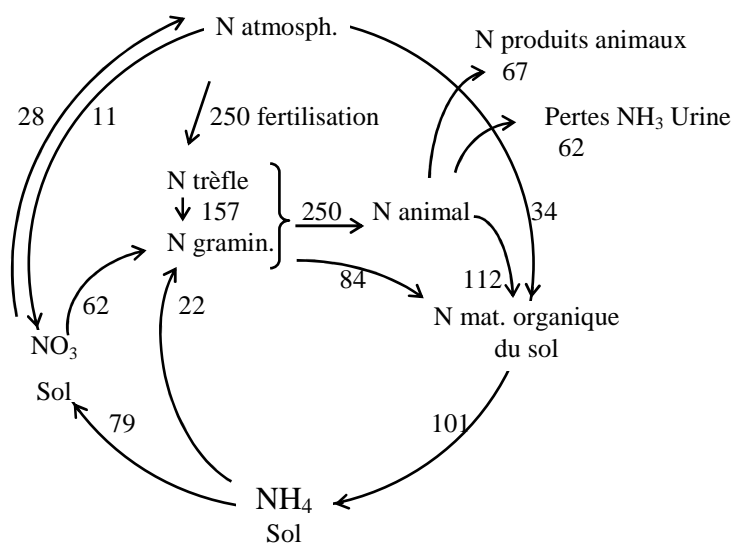
La figure 5 présente le cycle de l'azote dans une prairie fauchée par rapport à une prairie pâturée.

Figure 5 : Cycle de l'azote (kg N/ha/an) dans une prairie mixte fauchée ou pâturée.

a) Prairie fauchée (graminées et trèfle).



b) Prairie pâturée (graminées et trèfle).



(adapté de Date, 1973)

D'après Date (1973) il existe un flux d'azote plus élevé dans les prairies pâturées par rapport aux prairies fauchées particulièrement au niveau de l'ammonification et de la nitrification (101 vs 22 et 79 vs 17 kg N/ha/an, respectivement) expliqué principalement par le recyclage animal. Les pertes d'azote du système par les rejets animaux sont partiellement compensées par des sorties d'azote en produits animaux, mais celles-ci restent plus faibles que celles des prairies fauchées représentées par l'azote exporté dans l'herbe fauchée.

2.2.-Digestion et métabolisme protéique en relation avec les teneurs en urée dans le plasma et le lait

Avec les fourrages riches en azote non protéique, par exemple suite à l'épandage d'importantes quantités de fumure azotée, la formation d'ammoniaque dans le rumen est souvent supérieure à la capacité de protéosynthèse des micro-organismes du rumen, d'autant que celle-ci est alors limitée par la quantité d'éléments énergétiques (glucides solubles). L'ammoniaque résultant de cette désamination et de la dégradation des protéines par les micro-organismes du rumen est rapidement convertie en urée en raison de sa haute toxicité (Jonker *et al.*, 1998). L'excès d'acides aminés et de peptides absorbés au niveau de l'intestin est désaminé dans le foie.

L'urée est excrétée dans la veine hépatique par le tissu hépatique et participe au pool d'urée sanguine. Elle est filtrée par les reins et excrétée dans l'urine. Un flux en contre-courant et des différences de perméabilité de la membrane dans les boucles ascendantes et descendantes de Henlé produisent un gradient de concentration qui permet la diffusion de l'urée vers l'urine. Ce processus concentre l'urée. Le flux de sang au niveau des reins est constant et assure un taux de filtration constant de l'urée, qu'exporte l'urine. Avec un faible volume urinaire, la concentration d'urée peut être plus élevée par rapport à des volumes importants d'urine, mais la quantité de sang filtré reste similaire. En cas d'urémie élevée, il y a davantage d'urée éliminée par les urines pour une quantité de sang filtré identique. Les pertes d'azote urinaire peuvent être importantes (Demarquilly, 1977 ; O'Farrell *et al.*, 1986). De plus, la digestion de la protéine brute dans les prairies de graminées jeunes fortement fertilisées est caractérisée par des pertes importantes d'azote au niveau du rumen car ces protéines brutes sont hautement dégradables dans le rumen et il y a un déséquilibre entre l'azote et l'énergie (Peyraud *et al.*, 1997).

L'excrétion d'urée dans les urines est donc proportionnelle à la concentration d'urée plasmatique (Jonker *et al.*, 1998 ; Kohn *et al.*, 2005). La consommation par les ruminants d'aliments riches en matière azotée ou de rations déséquilibrées par rapport à l'énergie résulte normalement en une augmentation de l'urémie (De Brabander *et al.*, 1998). L'urémie peut être augmentée soit par l'azote protéique hautement dégradable dans le rumen (Farruggia et

Vérité, 1998) ou avec l'augmentation du pourcentage du trèfle – espèce riche en azote protéique – (Harris *et al.*, 1998), soit par une haute teneur en azote minéral des aliments, comme c'est le cas des herbes de prairies fertilisées (Hood, 1976 ; Demarquilly, 1977 ; O'Farrell *et al.*, 1986).

Les teneurs en urée dans le plasma et le lait sont fortement corrélées. Roseler *et al.* (1993) et Harris *et al.* (1998) rapportent des coefficients de détermination de 84 et 88%. Oltner et Wiktorsson (1983) ont observé la relation suivante entre l'urée du plasma et du lait :

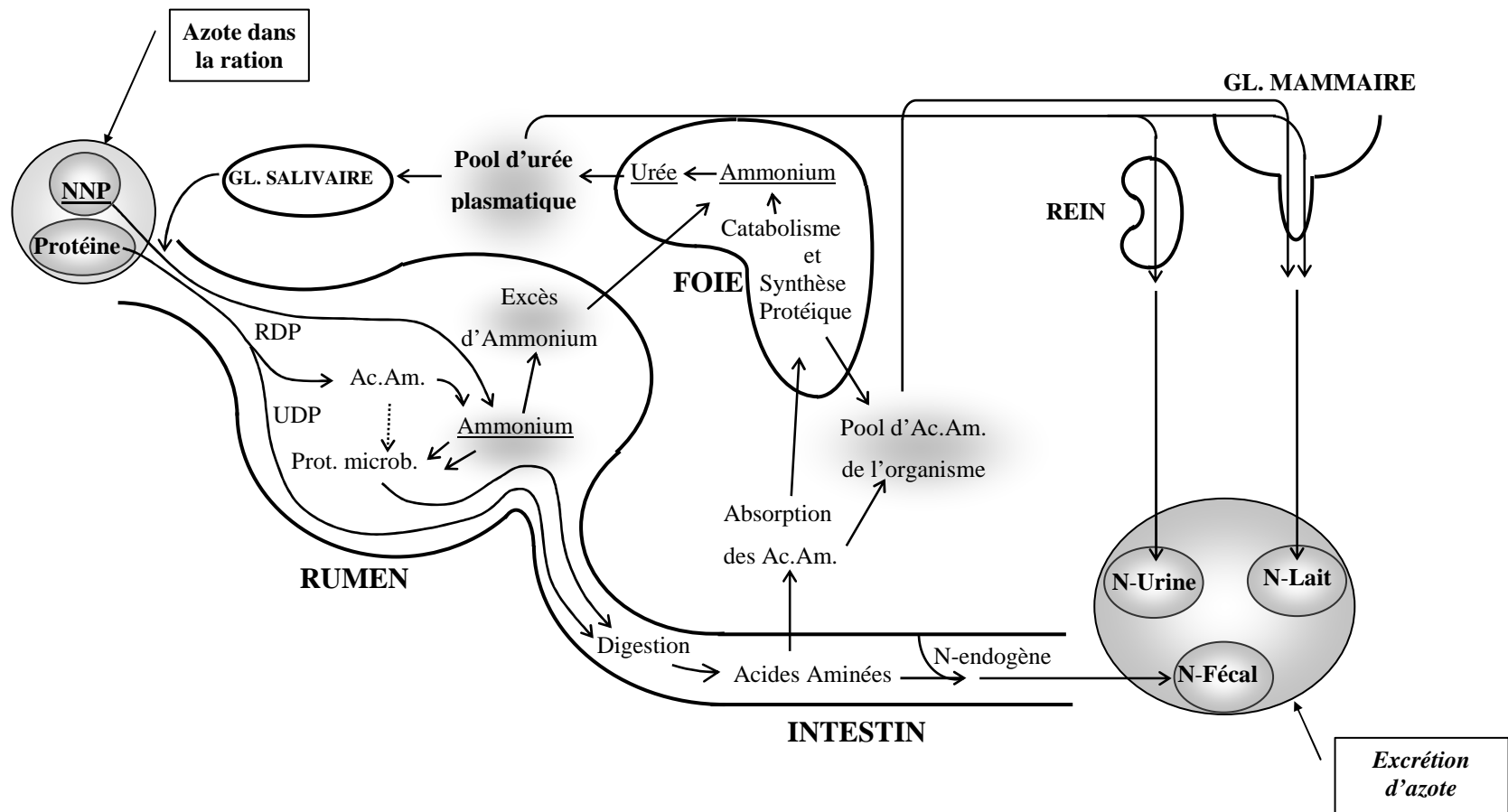
$$\text{Urée lait (mmol/l)} = -0,09 + 0,908 \text{ urée plasma (mmol/l)} ; R^2 = 98\%$$

Les teneurs en urée du lait et du plasma sont fortement corrélées avec la teneur en protéines de l'aliment et sont de bons indicateurs des quantités d'azote ingérées (Mathieu *et al.*, 1998). L'urémie est aussi liée aux quantités d'énergie ingérées (Sauvant et Martens, 1998). Oltner et Wiktorsson (1983) ont rapporté une relation entre la concentration en urée et la relation protéine/énergie (R.P/E) de la ration exprimée selon l'équation suivante :

$$\text{Urée du lait (mmol/l)} = -2,75 + 0,61 \times \text{R.P/E} \quad (R = 0,94)$$

La figure 6 schématise la digestion et le métabolisme de l'azote chez les ruminants.

Figure 6 : Diagramme des routes métaboliques de l'azote chez les ruminants



(d'après Hibbitt, 1984)

NNP : azote non protéique ; RDP : protéine dégradable dans le rumen ; UDP : protéine alimentaire non dégradable ; Ac.Am.: acides aminés.

Les teneurs en urée plasmatique peuvent aussi servir à estimer les rejets azotés qui sont surtout très dépendants de la teneur en azote de la ration. A l'échelle de l'année, ces deux composantes évoluent, d'une part, selon le système fourrager et son degré d'intensification et, d'autre part, selon la stratégie de complémentation. Les rejets azotés chez les ruminants sont alors directement et principalement liés aux apports azotés des rations que l'on peut maîtriser à travers, par exemple, la fertilisation et le stade de récolte du fourrage utilisé, et par la complémentation azotée (Giger-Reverdin et Sauvant, 1998 ; Vérité et Delaby, 1998).

La quantité d'urée excrétée dans l'urine par les vaches laitières (Harris *et al.*, 1998) ainsi que par les animaux viandoux (Thornton, 1970) est, en effet, directement proportionnelle à la concentration d'urée plasmatique. Dans le cas des vaches laitières, étant donnée qu'il existe une corrélation positive entre l'urée dans le plasma et dans le lait, cette dernière est alors un critère d'estimation intéressant de la quantité journalière d'azote rejeté dans l'urine ou l'ensemble des déjections (Vérité et Delaby, 1998) et elle dépend, comme l'urée plasmatique, de la teneur en azote (notamment de l'azote non protéique) du fourrage (Colin-Schoellen *et al.*, 1998).

L'excrétion urinaire d'azote en fonction de l'urée du lait a été calculée comme suit :

$$UN = 12,54 (\pm 0,24) \times MUN \text{ (Jonker } et al., 1998)$$

où UN : excrétion urinaire d'azote (g/j) et MUN : urée dans le lait (mg/dl).

Ciszuck et Gebregziabher (1994) ont rapporté la relation suivante entre l'excrétion totale d'azote dans l'urine et l'urée dans le plasma et dans le lait :

$$UN = 27,2 + 10,2 \times \text{Urée plasma (mg N/100 ml)}$$

$$UN = 62,8 + 9,3 \times \text{Urée lait (mg N/100 ml)}$$

La teneur en urée du lait permet d'estimer correctement les rejets azotés urinaires mais le modèle est encore plus précis si l'on ajoute la production laitière (Farruggia et Vérité, 1998).

Le modèle proposé par les auteurs est :

$$UN = 4,4 \text{ UREE} + 1,9 \text{ PL}$$

où UREE : urée du lait (mg/dl) et PL : production laitière (kg/j).

Selon De Brabander *et al.* (1998), l'excrétion totale d'azote journalière exprimée en fonction de la teneur en urée du lait et de la production laitière est :

$$\text{Excrétion d'azote (g N/jour)} = 43,1 + 0,36 \text{ urée plasma (mg/l)} + 6,0 \text{ PL (kg/j)}$$

Chez des taurillons en finition, Terada *et al.* (1998) ont rapporté des corrélations entre l'excrétion urinaire et totale (urine + fèces) et la teneur en matières azotées totales de la ration, mais ils ont également observé un effet du poids et de la consommation totale de matière sèche. Les corrélations obtenues par ces chercheurs ont été les suivantes :

$$\text{FUN} = 16,74 \times \text{DMI} + 8,54 \times \text{MAT} + 0,108 \times \text{PV} - 154,3 ; R^2 = 0,96$$

$$\text{UN} = 8,54 \times \text{DMI} + 6,85 \times \text{MAT} + 0,123 \times \text{PV} - 131,6 ; R^2 = 0,927$$

où FUN : excrétion d'azote par les fèces et l'urine (g/j) ; UN : excrétion d'azote dans l'urine (g/j) ; DMI : consommation de matière sèche (kg) ; MAT : matière azotée totale (% matière sèche) et PV : poids vif (kg).

2.3.-Efficience d'utilisation de l'azote

L'efficience d'utilisation de l'azote par les animaux est relativement faible. Seulement 10 à 15% de l'azote ingéré sont retenus dans les produits animaux (Jarvis *et al.*, 1989 ; Van der Hoek, 1998 ; Stevens, 1999). Il est donc nécessaire d'optimiser l'utilisation de l'azote et de réduire ses pertes (Dufrasne *et al.*, 1998, Rotz, 2004). Chez la vache laitière, l'excrétion d'azote urinaire peut atteindre 65% de l'azote ingéré (Peyraud *et al.*, 1997). Selon Holmes (1968), les matières fécales contiennent 26% et l'urine 53 % de l'azote ingéré. L'efficience de rétention d'azote dans l'organisme dépend de la teneur en matières azotées de l'herbe et donc du niveau de fumure azotée appliquée. Avec l'augmentation de la fumure azotée, les rejets azotés urinaires peuvent augmenter cinq fois plus vite que ceux d'origine fécale. Cet accroissement plus rapide est la conséquence directe de l'évolution de la teneur en matières azotées totales de l'herbe. L'excès d'azote dégradable est alors éliminé par voie urinaire (Mathieu *et al.*, 1998). Une augmentation de la teneur en matières azotées totales de l'herbe de 18 à 22% de la matière sèche entraîne un accroissement des rejets azotés de 30% chez les vaches laitières, dont l'essentiel est éliminé par voie urinaire. Un excès d'apport d'azote dégradable de 200 g/j entraîne un accroissement des rejets annuels d'environ 18 kg N tandis qu'un excès d'apport d'acides aminés de 10% augmente les rejets de 13 kg N/an. Chez les vaches laitières, les rejets azotés augmentent en moyenne de 58 kg pour 100 kg épandus ; 87% sont associés à l'azote urinaire (Vérité et Delaby, 1998). Le tableau 5 présente l'efficience d'utilisation de l'azote ingéré chez les moutons avec deux niveaux de fumure

azotée : l'efficacité chute dramatiquement avec une application de 100 kg par rapport à 33,5 kg N/ha.

Tableau 5 : Influence de la fertilisation azotée sur la quantité d'azote excrétée dans l'urine et sur la quantité d'azote retenue chez des moutons

Fertilisation N (kg/ha)	Azote ingéré (g/jour)	Azote fécal		Azote urinaire		Azote retenu	
		g/jour	% N ingéré	g/jour	% N ingéré	g/jour	% N ingéré
33,5	27,6	9,3	33,6	13,6	49,1	4,7	17,2
100,0	29,7	9,1	30,5	20,4	68,8	0,2	0,6

(d'après Demarquilly, 1977)

Chez les taureaux à l'herbe, Stevens (1999) a rapporté que l'efficacité d'utilisation de l'azote était réduite de 14,8 à 5,1% avec l'augmentation de la fumure azotée de 108 jusqu'à 508 kg N/ha. La récupération d'azote dans les produits animaux a été de 16 et 25,8 kg/ha/an avec le plus haut et le plus bas niveau de fumure azotée. L'azote qui n'est pas retrouvé sous forme de produits animaux a été soit stocké dans le sol, soit perdu par lessivage ou par volatilisation.

Chez les vaches laitières, l'efficacité d'utilisation de l'azote est plus élevée en raison notamment de plus grands volumes de production. Jarvis et Aarts (2000) dans une revue bibliographique ont rapporté pour des systèmes de conduite du type «commercial» ou «conventionnel» des efficacités d'utilisation de l'azote moyennes de 17% pour des fermes d'Europe de l'Est. Cette efficacité peut être augmentée avec des réductions des intrants azotés (notamment pour une diminution de la fertilisation azotée) ou avec une substitution d'azote minéral pour la présence de trèfle dans les prairies (Jarvis et Aarts, 2000).

3. INFLUENCE DU CHARGEMENT SUR LES PERFORMANCES PHYTOTECHNIQUES ET ZOOTECHNIQUES

3.1.-Définition du chargement

Le chargement peut être défini comme la surface destinée à chaque animal pendant une durée donnée (Ohlenbusch et Watson, 1999) ou à l'inverse, la capacité de charge d'une pâture est définie comme le nombre d'animaux, d'un type donné, qui peuvent subsister sur une unité de surface et produire à un taux qu'on considère comme adéquat pendant une période spécifiée, généralement une saison, une année ou plus (Cowlshaw, 1969). Le chargement exprime toujours une certaine quantité d'herbe offerte aux animaux au pâturage.

Le chargement influence la récupération des plantes après le pâturage, la production du fourrage à venir, la qualité du fourrage disponible, les performances animales et le changement à long terme de la composition botanique. Le système prairial est donc complexe en raison des interactions entre ses composants, à savoir le sol, les plantes et les animaux (Ohlenbusch et Watson, 1999).

3.2.-Chargement et disponibilité de l'herbe

Normalement, on peut attendre une diminution de la disponibilité en herbe et de la quantité d'herbe consommée par animal avec l'augmentation du chargement, s'il n'existe aucune autre modification de la conduite de la prairie, notamment par un apport de fumure azotée (Conniffe *et al.*, 1970). De même, la production cumulée d'herbe est réduite avec l'augmentation du chargement (Cowlshaw *et al.*, 1985), en raison principalement de l'augmentation de la défoliation qui réduit la surface photosynthétique de la plante et donc le taux de croissance de l'herbe (Stockdale et King, 1980).

Avec une défoliation intense, l'augmentation du chargement affecte négativement la production de la prairie (exprimée en tonnes de MS/ha) du fait de la réduction de l'herbe résiduelle. Selon Stockdale et King (1980), la production annuelle de la prairie décline alors

de 0,4 tonne MS/ha pour chaque vache ajoutée. Les auteurs proposent le rapport suivant entre la production d'herbe et le chargement animal :

$$APP = 17,75 - 0,394 SR - 0,730 Y ; r^2=0,97$$

où APP est la production annuelle d'une prairie pérenne irriguée (tonnes MS/ha), SR est le chargement et Y est l'année.

Les performances animales au pâturage dépendent principalement de la quantité et de la qualité de l'herbe ingérée. La disponibilité et la digestibilité de l'herbe sont les facteurs qui influencent de manière prépondérante les performances animales (Dufrasne *et al.*, 1998). Les gains quotidiens moyens des animaux diminuent lorsque le chargement augmente parce que la quantité de fourrage disponible par animal régresse progressivement (Marsh et Murdoch, 1974 ; Cowlshaw *et al.*, 1985). Andries *et al.* (1973) ont ainsi noté qu'il fallait, à charge plus élevée, une plus longue durée de pâturage pour obtenir des animaux prêts pour l'abattage. Cependant, le gain total de poids augmente normalement avec l'augmentation du chargement tant que les réserves en herbe restent suffisantes pour assurer des gains de poids par vache corrects (Andries *et al.*, 1973 ; Meadowcroft et Altman, 1982).

Dans le cas particulier des vaches allaitantes, avec une saison de vêlage au début de l'été coïncidant avec la diminution de la production d'herbe, l'augmentation du chargement peut réduire la récupération du poids des mères (Hennessy et Robinson, 1979). Les possibilités de compensation en arrière-saison sont donc faibles, d'autant plus que c'est à cette période que les quantités d'herbe disponibles sont habituellement les plus limitées (Petit *et al.*, 1987).

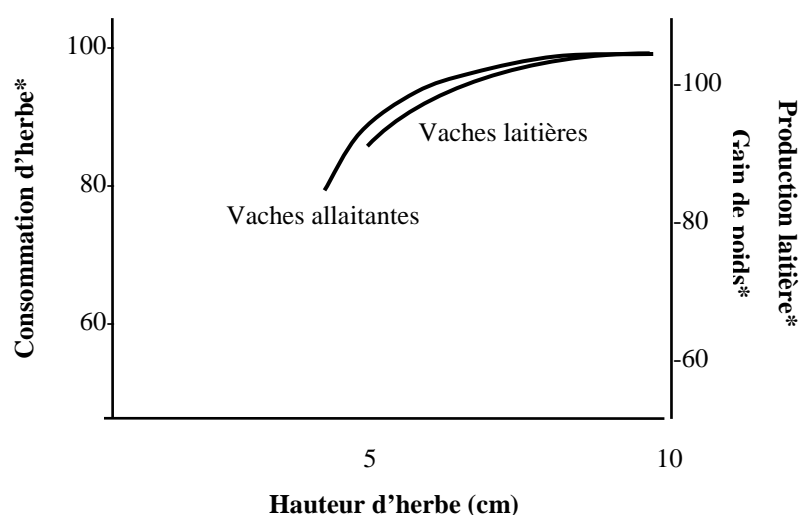
Yiakoumettis et Holmes (1972) ont testé différents niveaux de chargement avec des génisses et des bouvillons croisés Charolais, Ayrshire et Pie Noir d'un poids moyen de 264 kg : pendant les six premières semaines, ils n'ont pas constaté d'effet du chargement sur les gains, probablement en raison d'une croissance compensatrice au pâturage, les animaux ayant réalisé précédemment des faibles gains, ou en raison d'une importante disponibilité d'herbe au printemps. Par contre, les gains obtenus pendant les douze premières semaines du pâturage ont été réduits avec les chargements élevés en raison d'une diminution de la quantité d'herbe offerte aux animaux.

D'autre part, la sous-exploitation du pâturage permet l'accumulation d'herbe sous forme de refus et réduit la capacité du chargement. Dans des cas extrêmes, elle réduit les performances

individuelles (Cowlshaw, 1969). Le problème majeur de la conduite du pâturage est donc d'atteindre l'équilibre entre la satisfaction des besoins de l'animal et l'augmentation des performances à l'hectare tout en assurant une défoliation efficace de la part des animaux (Yiakoumettis et Holmes, 1972).

Dans les essais se déroulant dans des prairies pâturées, la disponibilité en herbe est souvent estimée par des mesures de la hauteur de l'herbe. Hodgson (1990) a mis en relation la consommation d'herbe, la production laitière ou le gain de poids en fonction de la hauteur de l'herbe.

Figure 7 : Relation entre la hauteur d'herbe, la consommation et la performance animale des animaux pâturant dans un système continu.



(adapté de Hodgson, 1990)

La consommation et la performance sont exprimées par rapport à la production maximale (100*).

Les consommations des vaches laitières et allaitantes sont similaires ; elles commencent à descendre quand la hauteur de l'herbe est inférieure à 8-9 cm. La production laitière individuelle suit la même tendance (Hodgson, 1990).

3.3.-Chargement et valeur nutritive de l'herbe

L'augmentation du chargement, facteur déterminant de l'intensité de la défoliation, réduit la digestibilité des nutriments consommés par une augmentation de la consommation des tiges par rapport aux feuilles qui ont une plus haute digestibilité. Le surpâturage peut affecter négativement la production de l'herbe en affectant le développement des points de croissance avec une moindre production de matière sèche à l'hectare. Le chargement exerce un effet sur la croissance de l'herbe et sur la proportion et la quantité d'herbe consommée par animal (Cowlshaw, 1969). L'augmentation du nombre d'animaux par unité de surface peut forcer l'animal à consommer une herbe moins digestible (Cowlshaw, 1969) et moins appétente (Hull *et al.*, 1961). A l'opposé, les animaux pâturant à des chargements faibles peuvent sélectionner une herbe plus nutritive (Hull *et al.*, 1961). Normalement, le gain maximal par hectare s'obtient quand il y a encore une possibilité de pâturage sélectif par l'animal (Cowlshaw, 1969).

Si le chargement n'est pas trop élevé, et qu'on se situe aux environs du chargement « optimal », la défoliation fréquente d'une prairie mixte réduit la compétition pour la lumière entre le trèfle et les graminées (Stockdale et King, 1980) et favorise la croissance du trèfle (Gibb *et al.*, 1989 ; Davies et Evans, 1990) qui a une valeur nutritive plus élevée que les graminées (Caradus *et al.*, 1993). La digestibilité de l'herbe consommée est alors améliorée. De même, si la défoliation est modérée, la consommation de jeunes feuilles de graminées augmente la digestibilité de l'herbe consommée grâce à une réduction de la teneur en fibres (Stockdale et King, 1980).

Des chargements trop élevés peuvent également diminuer la digestibilité en raison du surpiétinement et du dépôt des matières fécales, en réduisant la proportion du trèfle de la prairie (Leconte, 1991). La valeur nutritive de l'herbe pâturée à différents chargements dépend ainsi de la composition originale de la prairie, de la réponse des différentes espèces végétales au taux de chargement, de l'évolution de la production de matière sèche de chaque espèce pendant la saison de pâturage, de l'intensité de défoliation et de la partie de la plante étant consommée.

3.4.-Chargement et utilisation de l'herbe

Le chargement est aussi un facteur clé dans la détermination de l'efficacité d'utilisation du pâturage (Meadowcroft et Altman, 1982). Avec l'augmentation du chargement, la consommation individuelle de fourrage est réduite, mais la consommation par hectare, et donc le taux d'utilisation de l'herbe - défini comme le rapport entre les quantités d'herbe ingérées et offertes (Delaby et Peyraud, 1998) - augmente. Stockdale et King (1980) ont noté des valeurs de 42, 57 et 62% de taux d'utilisation d'herbe avec des chargements de 4,4, 6,6 et 8,6 vaches Jersey et Pie Noir par ha. Si un taux d'utilisation élevé de l'herbe est important pour bien valoriser les prairies, il faut également veiller à obtenir des performances intéressantes. Selon Hull *et al.* (1961), la production maximale par ha, chez des bouvillons Hereford de 280 kg, a été obtenue quand moins de 75% de l'énergie digestible a été utilisée pour l'entretien. Quand ce pourcentage augmente et que la partie utilisée pour le gain de poids diminue, notamment par réduction de la disponibilité de fourrage par animal, les performances diminuent. Les performances individuelles peuvent aussi être réduites quand des chargements très élevés diminuent la qualité et la quantité d'herbe disponible (Hennessy et Robinson, 1979).

3.5.-Chargement et performances zootechniques dans la production de viande

L'effet de l'augmentation du chargement sur la réduction du gain quotidien moyen et l'augmentation du gain par hectare a été largement décrit sur différentes catégories d'animaux : chez des taurillons par Hull *et al.* (1961), Smith *et al.* (1985) et Neuteboom *et al.* (1994), chez des génisses de 264 kg par Horton et Holmes (1974) et Yiakoumettis et Holmes (1972), chez des bœufs par Andries *et al.* (1973), chez des vaches laitières par Ingram (1983) et Fiorelli (1992) et chez des moutons par Cowlshaw *et al.* (1985) et Orr *et al.*, (1990).

Dans le cas particulier des vaches allaitantes, la reconstitution des réserves corporelles peut être compromise si les chargements sont élevés (Petit *et al.*, 1987). Hennessy et Robinson (1979) ont constaté que le poids des veaux au vêlage n'est pas affecté par le niveau de

chargement, mais leur croissance à certains moments de la saison est réduite si aucun complément n'est donné. Le tableau 6 présente les performances zootechniques et la production de lait chez des vaches allaitantes et leurs veaux, pour différents chargements.

La réduction du gain du poids des veaux peut atteindre 60 à 120 g/jour avec une augmentation de 30% du chargement, mais elle n'est probablement due que partiellement à une réduction de la production laitière des mères. La réduction de gain est plutôt à attribuer à une diminution de la quantité et la qualité de l'herbe disponible pour le veau. En effet, la quantité de lait tétée n'a été réduite au maximum que de 0,5 kg, ce qui correspond à 30-40 g de croissance du veau (Petit *et al.*, 1987). Cependant, avec l'augmentation du chargement, le gain/ha des veaux a été augmenté dans les expériences de Hennessy et Robinson (1979) et Petit *et al.* (1987).

Tableau 6 : Performances zootechniques des vaches allaitantes Charolaises et Normandes (et leurs veaux) et production laitière avec différents chargements

Chargement* (%)		GQM (kg/j)	Gain/tête (kg)	Gain/ha Relatif † (%)	Production laitière (kg/j)
100	Vaches	0,273	35	100	8,2
128 (70)		0,144	19	70	7,9
100	Veaux	1,077	139	100	
128 (70)		0,923	119	109	

(d'après Petit *et al.*, 1987)

* : 100% : 15 kg MS d'herbe disponible par couple vache + veaux. Le chiffre entre parenthèses est la réduction en pourcentage de la quantité d'herbe disponible par couple (MS).

† : Gain/ha relatif : exprimé en % par rapport au chargement plus faible.

En ce qui concerne la qualité de la carcasse, Alder *et al.* (1967) ont rapporté que le poids, la largeur, la profondeur de la section du muscle *longissimus dorsi* et que l'épaisseur et le poids de la graisse de carcasses de taurillons Hereford x Pie Noir (370 kg) ont été réduits avec l'augmentation du chargement. La classification de la carcasse était en relation avec le gain de poids vif et le poids de la carcasse. De même, l'augmentation du chargement a provoqué une diminution de la consommation d'aliment et d'énergie et a entraîné une réduction du gain du poids et du contenu énergétique de la carcasse (Hull *et al.*, 1961 ; tableau 7).

Tableau 7 : Composition et poids de la carcasse selon le niveau de chargement

Chargement (animaux/ha)	Poids carcasse (kg)	Graisse (%)	Protéine (%)	Energie (Mcal/kg)
2,7	222	17,1	18,9	2668
4,5	214	14,7	19,1	2459
6,1	209	14,8	19,1	2466
7,9	197	13,9	19,1	2385
9,4	189	13,4	19,2	2336

(d'après Hull *et al.*, 1961)

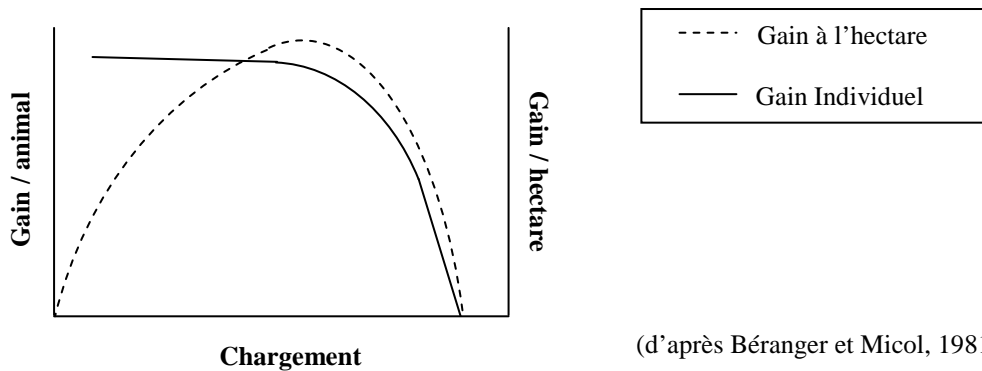
Le chargement influence de manière importante le gain par hectare : celui-ci augmente jusqu'au point où le gain individuel d'un animal additionnel n'est pas suffisant pour équilibrer la dépression consécutive du gain du poids des autres animaux. Au-delà de ce point, le gain par hectare chute (Meadowcroft et Altman, 1982).

3.5.1.-Modèles de réponse des performances zootechniques par rapport au chargement

La relation entre le gain de poids vif par hectare et le chargement peut être décrite comme une relation quadratique (Cowlshaw, 1969 ; Yiakoumettis et Holmes, 1972 ; Marsh et Murdoch, 1974 ; Cowlshaw *et al.*, 1985 ; Jones, 1990 ; Hernández Garay *et al.*, 2004). La relation entre d'une part les gains de poids et la production de laine à l'hectare et d'autre part le chargement (Doyle et Wilkins, 1984 ; Cowlshaw *et al.*, 1985) présentent également ce modèle quadratique.

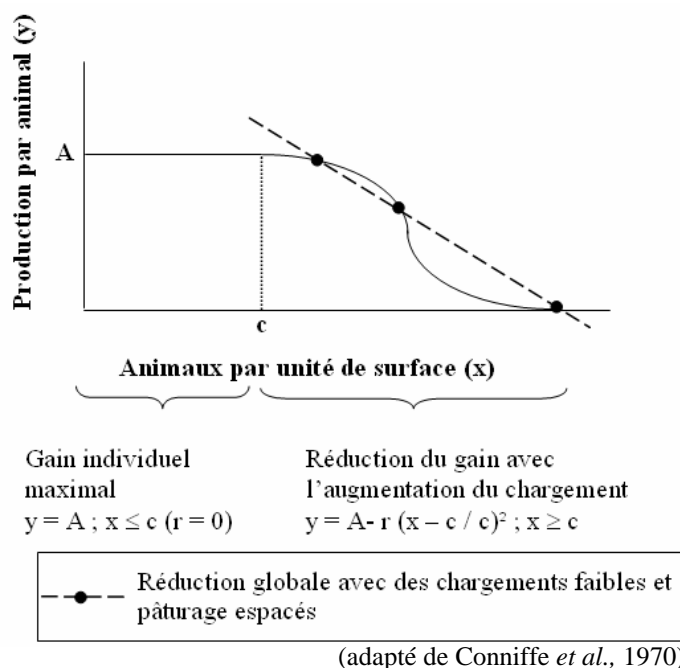
La chute du gain individuel avec l'augmentation du chargement est normalement décrite comme un modèle linéaire (Marsh et Murdoch, 1974 ; Meadowcroft et Altman, 1982 ; Aiken *et al.*, 1991 ; Neuteboom *et al.*, 1994 ; Ackerman *et al.*, 2001 ; Hernández Garay *et al.*, 2004). De même, la production de laine par hectare chez les moutons présente cette distribution linéaire (Doyle et Wilkins, 1984). Béranger et Micol (1981) décrivent l'évolution du gain de poids individuel en fonction de l'augmentation du chargement comme une réduction de plus en plus rapide à partir du maximum théorique obtenu à faible chargement, comme on peut l'observer dans la figure 8 (décrite par un modèle quadratique).

Figure 8 : Evolution du gain par hectare et du gain individuel en fonction du chargement, chez les animaux au pâturage



Malgré les modélisations linéaires ou quadratiques généralement acceptées du gain individuel en fonction du chargement, Conniffe *et al.* (1970) considèrent plus précisément que, si le nombre d'animaux par ha est minimal, la croissance théorique par animal sera maximale, mais il y a un point du chargement où la croissance individuelle chute rapidement. Avec des chargements plus élevés, la chute de la croissance devient plus lente : la courbe est de forme sigmoïde. Cette relation est mise en évidence si de nombreux chargements différents sont appliqués, de façon à pouvoir appréhender la courbe. Sinon, l'effet global de la réduction de gain individuel avec le chargement apparaît comme linéaire (voir figure 9).

Figure 9 : Relation entre chargement et réponse individuelle des animaux au pâturage.



Gain individuel maximal
 $y = A ; x \leq c \ (r = 0)$

Réduction du gain avec l'augmentation du chargement
 $y = A - r \left(\frac{x - c}{c} \right)^2 ; x \geq c$

—●— Réduction globale avec des chargements faibles et pâturage espacés

Dans la figure 9, les variables « x » et « y » sont le chargement et le gain individuel respectivement. La constante « A » est la valeur maximale du gain par animal, qui varie selon le milieu et entre animaux. Cette valeur peut avoir la valeur du gain individuel moyen d'un troupeau pâturant à de très faibles chargements. La constante « r » a une valeur qui varie aussi mais elle exprime toujours le taux de réduction du gain par l'augmentation du chargement. Si la constante « r » a une valeur égale à zéro, le gain individuel est égal au maximum théorique « A ». La constante « c », qui varie également selon le milieu et les animaux utilisés, exprime le chargement critique à partir duquel le gain individuel diminue.

Nous avons calculé un modèle quadratique de gain de poids à l'hectare en fonction du chargement à partir de données bibliographiques (Holmes, 1968 ; Andries *et al.*, 1973 ; Holmes et Lang, 1974 ; Umoh et Holmes, 1974 ; Demarquilly, 1977 ; Horn *et al.*, 1979 ; Meadowcrofts et Altman, 1982 ; Leconte, 1991 ; Micol *et al.*, 1992 ; O'Riordan, 1996 ; Jones, 1990) . Ce modèle répond à la fonction :

$$y = - 48,38 x^2 + 282,66 x + 13,54 ; R = 0,75 \quad (1)$$

où x est le chargement.

De même, nous avons calculé un autre modèle quadratique du gain quotidien moyen en fonction du chargement, calculé à partir de la bibliographie (Alder *et al.*, 1967 ; Escuder *et al.*, 1971 ; Yiakoumettis et Holmes, 1972 ; Andries *et al.*, 1973 ; Holmes et Lang, 1974 ; Horton et Holmes, 1974 ; Umoh et Holmes, 1974 ; Demarquilly, 1977 ; Horn *et al.*, 1979 ; Meadowcrofts et Altman, 1982 ; Leconte, 1991 ; Micol *et al.*, 1992 ; Neuteboom *et al.*, 1994 ; O'Riordan, 1996). Ce modèle est exprimé par la fonction:

$$y = -0,048 x^2 + 0,025 x + 1,09 ; R = 0,92 \quad (2)$$

où x est le chargement.

Plusieurs auteurs ont proposé un modèle du gain quotidien moyen en fonction du chargement en considérant une réponse linéaire :

GQM (kg/j) par niveau de chargement :

$$y = -0,346 x + 1,575 ; R = 0,82 \quad (3)$$

où x est le chargement.

Les coefficients du modèle linéaire peuvent être comparés à ceux publiés par Cowlshaw (1969) (tableau 8).

Tableau 8 : Coefficients des équations du gain quotidien moyen en fonction du chargement (réponse y : GQM en kg/j ; variable x : chargement animaux/ha)

Fourchette de chargement	Coefficients du modèle : $y = ax + b$		Coefficient de corrélation r
	a	b	
2,6 – 7,3	-0,305	1,552	-0,997
2,6 – 7,3	-0,328	1,643	-0,987
2,6 – 7,3	-0,296	1,497	-0,750
3,8 – 6,3	-0,291	1,288	-0,821
1,9 – 4,8	-0,123	1,033	-0,771
1,9 – 4,8	-0,287	1,397	-0,670
1,9 – 4,8	-0,228	1,397	-0,790
2,8 – 8,3	0,005	0,587	0,060
2,7 – 8,6	-0,009	0,678	-0,181
2,4 – 6,2	0,018	0,555	0,345
Moyenne	-0,184	1,163	
ET	0,142	0,418	

(d'après Cowlshaw, 1969)

En considérant une durée de pâturage de 180 jours, les modèles du gain de poids vif individuel ont été également calculés :

Gain individuel (kg/animal) en fonction du niveau de chargement (modèle quadratique) :

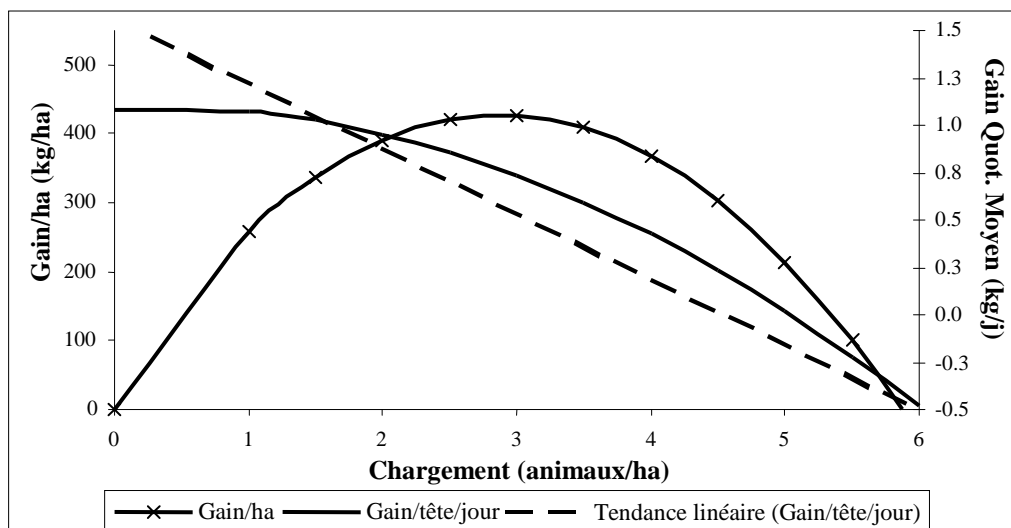
$$y = -8,62 x^2 + 4,46 x + 196,7 ; R = 0,92 \quad (4)$$

Gain individuel (kg/animal) en fonction du niveau de chargement (modèle linéaire) :

$$y = -62,28x + 283,54 ; R = 0,82 \quad (5)$$

La figure 10 montre l'évolution du gain quotidien moyen et du gain à l'hectare en fonction du chargement (équation 1, 2 et 3)

Figure 10 : Réponses des performances zootechniques (gain de poids à l'hectare et gain quotidien moyen) production de viande en fonction du chargement calculées à partir des données bibliographiques



3.5.2.-Définition du chargement optimal dans la production de viande.

Le chargement optimal peut être défini comme celui qui permet d'obtenir soit une production maximale par animal ou par ha (chargement optimal zootechnique), soit une production la plus économique possible (chargement optimal économique). D'un point de vue zootechnique, la production la plus élevée des prairies s'obtient seulement quand les besoins des animaux et la capacité productive de la prairie sont optimales (Doyle et Wilkins, 1984). Le chargement optimal se trouve entre la production maximale par animal et par hectare et le point où la performance individuelle de l'animal commence à chuter (Béranger et Micol, 1981 ; Ohlenbusch et Watson, 1999). Une conduite optimale ne peut être jugée seulement par les performances par hectare parce que les hautes performances obtenues avec des chargements élevés sont le résultat d'un grand nombre d'animaux par hectare avec de très faibles performances individuelles (Orr *et al.*, 1990). D'un point de vue économique, le chargement optimal varie avec le milieu, les animaux utilisés, la saison et les relations coûts-prix (Cowlshaw, 1969 ; Conniffe *et al.*, 1970). Il peut être inférieur au maximum possible parce qu'il dépend des relations entre la valeur de la pâture et des produits et des coûts associés à la conduite du pâturage (Cowlshaw, 1969).

Il est donc difficile de conseiller un chargement optimal généralisable à toutes les situations de production. Néanmoins, les chargements modérés sont généralement meilleurs à long terme du point de vue économique. Le but d'un chargement optimal est d'arriver à un compromis entre le gain maximal par animal et le gain maximal par hectare, plutôt que la maximalisation d'un seul paramètre.

Il faut également tenir compte de la possibilité de croissance compensatrice que présentent les animaux en stabulation après une saison de pâturage. La croissance compensatrice est caractérisée par une augmentation du gain de poids après une période de restriction alimentaire observée soit en stabulation soit en prairie. Dufrasne *et al.* (1995) ont comparé deux niveaux d'intensification (6 et 8 animaux/ha avec 177 kg N/ha) avec des taurillons finis en stabulation après une période de pâturage. Ils ont obtenu une croissance compensatrice des animaux pendant la période de stabulation. En effet, les gains quotidiens moyens au pâturage ont été de 1,29 et 0,98 kg/j pour les chargements faibles et forts respectivement tandis que

pendant la finition, ils ont été de 1,15 vs 1,35 kg/j. Les animaux soumis au chargement élevé pendant la période de pâturage ont donc pu exprimer une croissance compensatrice pendant la finition puisque leurs gains ont été augmentés (0,98 vs 1,35 kg/j). Escuder *et al.* (1971) recommandent des chargements faibles pour les animaux en croissance qui doivent effectuer des gains individuels élevés, et pour les vaches allaitantes ayant vêlé au printemps qui doivent reconstituer leurs réserves (Petit *et al.*, 1980).

Selon Behaeghe (1981), si la structure de l'exploitation le permet, on doit poursuivre une valorisation maximale de la saison de pâturage. Ce n'est généralement pas possible avec un chargement dépassant les quatre équivalents-vache par hectare. En effet, la croissance de l'herbe en été est physiologiquement limitée à un niveau correspondant aux besoins de quatre vaches par hectare.

Béranger et Micol (1981) ont rapporté que le chargement optimal pour des prairies de ray-grass anglais bien fertilisées et exploitées en rotation est de 6 à 7 bouvillons et de 4,5 à 5 bœufs à l'engrais par hectare. Ces chargements permettent d'obtenir 1 kg/jour de gain individuel et 800 kg par ha.

Cependant des variations importantes de la production de la prairie, et par conséquent des performances des animaux, ont été observées d'une année à l'autre (Meadowcroft et Altman, 1982). Dans ce contexte, Alder *et al.* (1967), avec des bouvillons croisés Hereford x Fresian (370 kg), ont trouvé que l'augmentation du chargement (4,15, 5,51 et 7,17 animaux/ha) n'a pas affecté le gain par hectare pendant la première année d'essai (moyenne 870 kg/ha) parce que la réduction des gains individuels par animal a été compensée par l'augmentation du chargement (1,02, 0,86 et 0,66 kg/j pour les trois chargements respectivement). Pendant la deuxième et la troisième année, le chargement de 5,51 animaux/ha a produit les gains les plus élevés par hectare, avec des gains individuels de 0,90 kg/j, situés entre les valeurs obtenues par les deux chargements extrêmes.

Par ailleurs la hauteur d'herbe, outil de mesure de l'intensité du pâturage couramment utilisé par les Anglo-Saxons, doit être d'environ 6 cm pour optimiser l'utilisation du fourrage (Johnson et Morrison, 1997). De même, Wilkins *et al.* (1987) proposent de 6 à 8 cm de hauteur d'herbe pour le bétail en croissance et de 7 à 9 cm pour le bétail en finition et pour

des vaches allaitantes avec veaux. Par contre, des hauteurs d'herbe supérieures à 9 cm risquent de produire un gaspillage d'herbe et de réduire l'efficacité du système.

Les courbes modélisant les réponses des performances zootechniques en fonction du chargement permettent également de définir le chargement optimal. Par exemple, Neuteboom *et al.* (1994), avec des bouvillons pâturant en continu à un chargement de 2,3, 3,6 et 4,9 animaux/ha, ont calculé le gain de poids vif individuel en fonction du chargement (x) selon l'équation linéaire suivante :

$$\text{Gain individuel (kg/tête)} = - 20 x + 150$$

Les mêmes auteurs ont observé une réponse quadratique du gain à l'hectare et la valeur maximale a été de 280 kg/ha avec 3,8 animaux/ha.

A partir des modèles calculés sur base des données bibliographiques (équation 1), on peut obtenir la valeur maximale de 426 kg/ha avec un chargement de 2,92 animaux/ha. Cette production maximale/ha correspond à un modèle théorique obtenu à partir des conditions expérimentales hétérogènes et en éliminant l'effet de la fertilisation azotée. Dans la pratique une augmentation du chargement doit être accompagnée d'une application de fertilisant et/ou d'une supplémentation des animaux pour assurer une consommation correcte par les animaux. Les interactions entre les productions animales et le chargement avec la fertilisation azotée seront analysées plus tard (point 5).

Les valeurs maximales du gain quotidien moyen s'obtiennent avec le chargement le plus bas de chaque expérience. La valeur maximale théorique est obtenue avec un chargement tendant vers zéro. Les gains quotidiens moyens maximaux seront alors de 1,09 kg/j pour le modèle quadratique et de 1,58 pour le modèle linéaire (équations 2 et 3 respectivement). Les gains de poids individuels seront de 197 et 284 kg/tête pour les modèles quadratique et linéaire respectivement (équations 4 et 5). En considérant un chargement « optimal » calculé de 2,92 animaux/ha, les gains quotidiens moyens des modèles quadratique et linéaire seront de 0,76 et 0,56 kg/j respectivement (équations 2 et 3). Les gains individuels seront de 136 et 102 kg/animal selon le modèle quadratique et linéaire (équations 4 et 5 respectivement).

3.6.-Chargement et performances zootechniques dans la production laitière

Les effets du chargement sur la production de lait individuelle et par ha sont semblables à ceux obtenus pour la production de viande : une relation quadratique peut également être établie entre l'augmentation du chargement et les productions à l'ha et individuelles (figure 8). Comme dans le cas des vaches allaitantes, les réserves corporelles des vaches laitières peuvent jouer un rôle de tampon pour maintenir des productions élevées malgré une augmentation du chargement : c'est donc le poids vif qui sera affecté. Les réserves corporelles seront rétablies après le pic de la courbe de lactation, avec une alimentation adéquate lorsque les besoins pour la production de lait diminueront. Pour chaque vache ajoutée, le poids vif au tarissement peut être réduit de 20 kg/vache (King et Stockdale, 1980 ; Gordon, 1973).

Nous avons calculé un modèle quadratique de production laitière à l'hectare en fonction du chargement à partir de données bibliographiques (Holmes, 1968 ; Gordon, 1973 ; Hood, 1976 ; Coombe et Hood, 1980 ; Gately *et al.*, 1984 ; Fiorelli, 1992 ; Delaby *et al.*, 1992 ; Delaby et Payraud, 1998 ; Delaby *et al.*, 1998). L'équation suivante décrit ce modèle:

$$y = -320,5 x^2 + 4612 x - 657,7 ; R = 0,90 \quad (6)$$

où x est le chargement.

De même, nous avons calculé une réponse de la production individuelle journalière (équation 7) et la production totale par lactation (équation 8) sur une durée de 305 jours calculée à partir de l'équation 7. Ces modèles sont :

Production individuelle journalière (kg lait/vache/jour) :

$$y = -2,20 x + 25,97 ; R = 0,75 \quad (7)$$

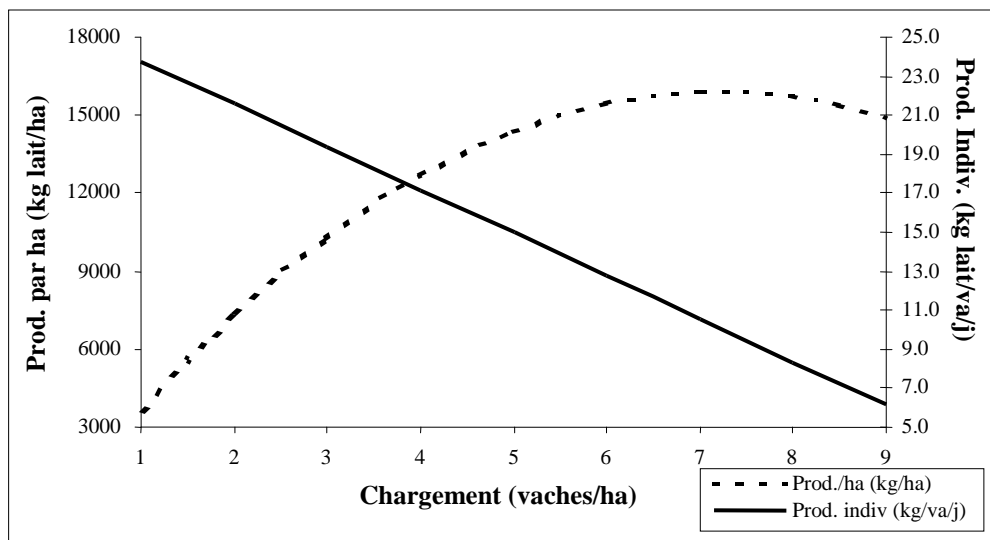
Production individuelle de toute la lactation (kg lait/vache) :

$$y = -671,8 x + 7920 ; R = 0,75 \quad (8)$$

où x est le chargement.

La figure 11 présente la relation entre le chargement et la production laitière à l’hectare et la production individuelle de toute la lactation, respectivement (équation 6 et 7).

Figure 11 : Réponse de la production laitière individuelle et à l’hectare en fonction du chargement calculée à partir des données bibliographiques



Les modèles obtenus pour la production individuelle et à l’hectare sont en accord avec ceux rapportés par Béranger et Micol (1981). De même, Gately *et al.* (1984) ont rapporté une relation linéaire et inverse entre le chargement et la performance individuelle. Selon Béranger et Micol (1981), l’augmentation du chargement d’une vache à l’hectare (entre deux et quatre vaches/ha) entraîne une réduction de 10% de la production laitière par vache et une augmentation de la production par hectare de 20%, mais avec des chargements élevés (supérieurs à quatre vaches/ha), la production individuelle chute plus rapidement et la production à l’hectare augmente plus lentement.

3.6.1.-Définition du chargement optimal en production laitière

Il existe trop peu d’essais sur les vaches laitières dans lesquels on ait dépassé le niveau de chargement optimum pour le déterminer avec précision (Béranger et Micol, 1981). A partir de la relation linéaire entre le chargement et la production individuelle calculée à partir des données bibliographiques (équation 7), cette production individuelle serait maximale avec un

chargement proche de zéro (intercepte) et égale à 26 kg lait/vache/j. La production à l'hectare, présentant une relation quadratique avec le chargement, a une valeur maximale avec un chargement de 7,2 vaches/ha. A ce niveau de chargement, la production individuelle est de 10 kg lait/j (équation 6). Ces niveaux de chargement optimaux doivent cependant être considérés avec précaution parce qu'ils proviennent de différentes situations expérimentales. Le chargement optimal d'une prairie est unique et varie aussi selon les années et les saisons. Dans la pratique, ce niveau de chargement est certainement rarement atteint, compte tenu de la faible variation de la production individuelle avec le chargement et de l'apport d'aliment concentré complémentaire qui compense les effets de l'augmentation du chargement au pâturage. Selon Béranger et Micol (1981), le niveau de chargement optimal se situe à environ 4 vaches/ha.

4. INFLUENCE DE LA FERTILISATION AZOTEE SUR LES PERFORMANCES PHYTOTECHNIQUES ET ZOOTECHNIQUES

4.1.-Fertilisation azotée et effet sur les différentes espèces de la prairie

Il est généralement accepté que le trèfle blanc a un désavantage compétitif quand il est cultivé avec des graminées (Frame, 1987 ; Harris et Clark, 1996). Des facteurs pédoclimatiques affectent la persistance et la proportion de trèfle d'une prairie mais l'effet de la fumure azotée est plus important (Frame et Boyd, 1987). On observe une réduction de la proportion de trèfle avec l'augmentation de la fumure azotée (Meadowcroft et Altman, 1982 ; Gately *et al.*, 1984 ; Frame, 1987 ; Tallowin *et al.*, 1990 ; Leconte, 1991 ; Barthram *et al.*, 1992 ; O'Riordan, 1996 ; Johnson et Morrison, 1997), mais un maintien ou une augmentation de la proportion des espèces productives (Holmes, 1968). Williams (1984), a comparé une fumure azotée de 133 kg/ha avec une absence de fumure. La fumure azotée a provoqué une réduction de la proportion de *Agrostis capillaris* et *Festuca rubra*, les espèces les plus abondantes en début d'essai, et une augmentation des proportions de *Holcus lanatus* et *Alopecurus pratensis*. Le trèfle blanc –*Trifolium repens*– et *Cerastium fontanum* ont disparu après trois années d'essai.

Dans une prairie mixte, les graminées valorisent avec plus d'efficacité l'azote minéral de la fumure que les légumineuses. Celles-ci peuvent utiliser 25% de l'azote disponible du sol (malgré la capacité de la fixation de l'azote atmosphérique) tandis que le ray-grass peut en utiliser jusqu'à 50%. Cette utilisation plus efficace induit des taux de croissance du ray-grass plus élevés. La compétition entre les espèces, particulièrement pour la lumière mais aussi pour l'eau et les nutriments, est alors augmentée (Harris et Clark, 1996).

D'après Frame (1987), des fertilisations modérées d'azote au printemps (50-60 kg N/ha) peuvent être avantageuses pour la production de la prairie sans produire d'effets néfastes sur le trèfle blanc. L'application de 55 kg N/ha n'a pas compromis la pérennité du trèfle qui participait encore à près de 40% à la production de matière sèche lors de la quatrième année d'essai. Cette fumure azotée est, par ailleurs, indispensable en sol froid pour diminuer, lors du premier pâturage, la variabilité inter-annuelle de production et assurer une mise à l'herbe précoce, si toutefois la portance du sol le permet (Leconte, 1991). L'effet de la fumure azotée

sur le pourcentage du trèfle dépend aussi de sa proportion initiale. Johnson et Morrison (1997) n'ont pas trouvé de différences dans le pourcentage du trèfle probablement en raison de la faible quantité d'engrais (50 kg N/ha vs une fumure nulle) et parce qu'il y a eu une proportion initiale élevée de trèfle au début de l'essai (40-50% de la matière sèche).

Selon Davidson et Robson (1990), ce n'est pas l'effet de la fumure azotée elle-même qui explique la variation du contenu en trèfle de la prairie, mais son effet négatif sur le taux de croissance. Le désavantage compétitif du trèfle vis-à-vis des graminées est aggravé avec des fumures élevées au début de la saison du pâturage, car les graminées ont alors une vitesse de croissance plus rapide. Cependant, les applications modérées d'azote au printemps n'affectent pas la croissance du trèfle. Davies et Evans (1990) associent la moindre performance au printemps des prairies mixtes contenant du trèfle blanc par rapport aux prairies de ray-grass à une baisse du taux de croissance du trèfle par temps froid ; cette situation peut être accentuée par la fumure azotée.

La fumure azotée augmente le désavantage compétitif du trèfle mais affecte aussi directement sa croissance. La fumure réduit la formation des nouveaux bourgeons de croissance et donc inhibe la ramification (Laidlaw et Steen, 1989 ; Davies et Evans, 1990 ; Barthram *et al.*, 1992). Harris et Clark (1996) rapportent que des fumures de 200 kg N/ha ont peu d'effets sur la morphologie du trèfle ; cependant, avec 400 kg N/ha, les stolons sont plus courts et moins développés et le nombre de points axillaires est réduit. La fumure azotée réduit aussi le diamètre et la longueur des stolons (Cowlshaw *et al.*, 1985; Frame, 1987 ; Frame et Boyd, 1987). L'utilisation prolongée de fumure azotée réduit également l'infection par les *rhizobia*, la formation et la croissance des nodules, en compromettant ainsi la persistance du trèfle (Harris et Clark, 1996).

Caradus *et al.* (1993) ont observé que des apports de 25 kg N/ha/an n'ont pas affecté les caractéristiques des stolons, mais que des doses supérieures à 100 kg N/ha peuvent avoir des effets négatifs. Néanmoins, l'azote n'a pas affecté la relation largeur/poids des stolons et la largeur des stolons jusqu'à des doses de 250 kg N/ha.

Laidlaw (1984) a rapporté un effet négatif de la fumure azotée sur la proportion de trèfle mais aussi une diminution de 55% de la production de matière sèche de trèfle à l'hectare pendant la deuxième année d'essai, même en l'absence d'apport d'azote (3,31 vs 1,81 tonnes/ha en

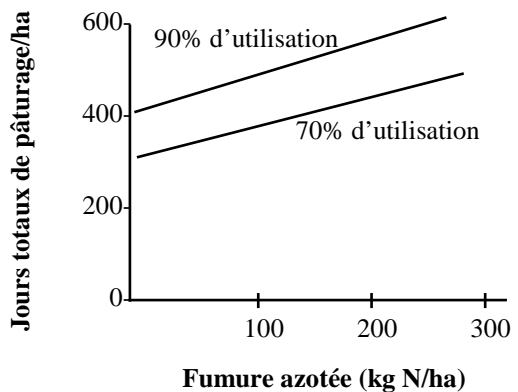
première et deuxième année respectivement). La fumure azotée a accentué la réduction de la production de matière sèche de trèfle à l'hectare après cinq années d'essai avec une dose de 90 kg N/ha. Delaby et Peyraud (1998) rapportent une disparition totale du trèfle après cinq années d'essai avec un niveau de fumure de 320 kg N/ha. Cette réduction de la proportion de trèfle est à mettre en relation avec un effet cumulatif de l'azote sur la prairie (Gately *et al.*, 1984 ; Frame et Boyd, 1987).

Il faut signaler que la sévérité de l'effet négatif de l'azote sur la croissance et la persistance du trèfle dépend aussi du cultivar. Selon Frame et Boyd (1987) et Caradus *et al.* (1993), les cultivars à larges pétioles résistent à des fumures jusqu'à 100 kg N/ha sans altération de leur persistance. Cependant, Laidlaw (1984) n'a pas observé d'interactions entre le niveau de fumure azotée et le cultivar.

4.2.-Fertilisation azotée et disponibilité de l'herbe

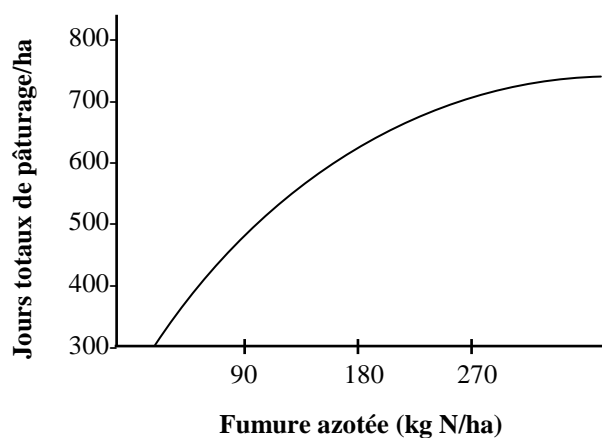
La fertilisation azotée a comme principal effet l'accroissement de la vitesse de croissance de l'herbe (Cowlshaw *et al.*, 1985) : la quantité de matière sèche présente à une même date est plus grande ou le nombre d'exploitations successives de la prairie peut être augmenté. L'accroissement de la production d'herbe dû à la fumure azotée exige, pour être valorisé, un accroissement du chargement et souvent du rythme d'exploitation de l'herbe (Béranger et Micol, 1981). La fumure azotée augmente alors la capacité de charge de la prairie (Barthram *et al.*, 1992). Cette augmentation peut être observée par l'accroissement des journées de pâturage rapporté normalement avec l'augmentation de la fertilisation azotée. Des réponses de l'augmentation des journées de pâturage/ha avec la fertilisation azotée rapportées par Gordon (1973) et Holmes (1968) ont été de 0,98 et 1,05 jours/kg N appliqué. Les figures 12 et 13 montrent la relation entre la fertilisation azotée et les journées de pâturage pour la production laitière (12) et la production de viande (13).

Figure 12 : Evolution du nombre de jours de pâturage chez des vaches laitières en fonction de la quantité d'engrais azoté appliqué et selon le niveau d'utilisation de l'herbe



(issu de Hodgson, 1990)

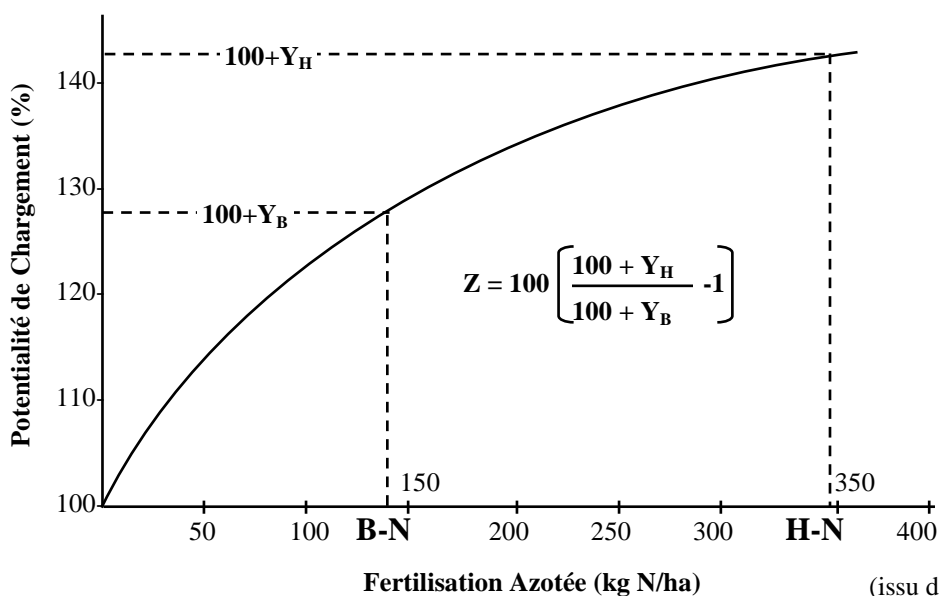
Figure 13 : Evolution du nombre de jours de pâturage en fonction de la fertilisation azotée en production de viande



(adapté de Kilkenny et Dench, 1981)

De même, Gately *et al.* (1984), dans une synthèse d'essais menés en Irlande sur des exploitations laitières ont rapporté une relation curvilinéaire entre le chargement et la quantité d'engrais azoté minéral appliqué (voir figure 14).

Figure 14 : Evolution des potentialités du chargement en fonction du niveau de fumure azotée appliquée



(issu de Gately *et al.*, 1984)

Les variables dans le modèle sont :

B-N : Niveau de fertilisation azotée faible

H-N : Niveau de fertilisation azotée élevée

Z : Pourcentage du changement par rapport à deux niveaux de fertilisation azotée (faible et élevée).

Y : Pourcentage du changement avec un niveau de fertilisation égal à zéro et un autre niveau donné (changement relatif à 0 N).

Frame et Boyd (1987) traduisent la réponse à la fertilisation azotée en terme de supplément de production de matière sèche d'herbe : les réponses sont de 7,3, 9,0 et 10,8 kg de matière sèche par kg de fumure azotée avec des niveaux de 120, 240 et 360 kg N/ha/année. Au-delà de 420 kg/ha/année, la réponse diminue (Prins, 1984).

Dans le cas des prairies permanentes à flore complexe, la fertilisation peut modifier notamment les proportions respectives des graminées, légumineuses et plantes diverses, et ainsi modifier la qualité du mélange (Demarquilly, 1977). La fertilisation azotée réduit le pourcentage de trèfle mais augmente la production totale de matière sèche à l'hectare (Caradus *et al.*, 1993). Frame et Boyd (1987) ont constaté des réponses négatives au pâturage, avec des applications faibles d'azote, quand la perte de la production du trèfle n'est pas compensée par le gain des autres espèces.

4.3.-Fertilisation azotée et valeur nutritive de l'herbe

La fumure azotée, en réduisant le pourcentage de trèfle des pâturages mixtes, affecte non seulement la quantité de l'herbe produite, mais aussi la valeur nutritive de l'ensemble des espèces consommées. Avec la maturité des végétaux, la digestibilité du trèfle diminue plus lentement que celle des graminées ; la digestibilité dans les prairies mixtes devrait donc être réduite quand il y a moins de trèfle. Cependant la fumure azotée stimule la croissance des graminées. Leur digestibilité est donc augmentée et la digestibilité de l'herbe offerte n'est donc pas réduite même si le pourcentage de trèfle de la prairie a diminué (Alder *et al.*, 1967; Demarquilly, 1977 ; Béranger et Micol, 1981). La fumure azotée peut, en augmentant la teneur en azote, augmenter la digestibilité de la matière organique de certaines graminées tropicales, généralement pauvres en azote, et dont la teneur en azote à des stades tardifs de végétation est souvent insuffisante pour assurer une activité normale des micro-organismes du rumen (Demarquilly, 1977).

D'un autre côté, la fertilisation azotée peut ne pas affecter la production de protéine brute à l'ha parce que l'augmentation de protéine brute dans les graminées est compensée par la réduction de la proportion de trèfle (Frame, 1987).

Chez les graminées, le contenu en azote de la plante est corrélé positivement avec le niveau de fertilisation azotée (Holmes, 1968 ; Marsh et Murdoch, 1974 ; Demarquilly, 1977 ; Tallwin *et al.*, 1990 ; Duru *et al.*, 1992; Wilkins *et al.*, 2000). Le pourcentage de protéine brute augmente linéairement avec la fumure azotée, jusqu'à de très hautes doses (800 kg N/ha ; Peyraud et Astigarraga, 1998). C'est alors surtout la fraction non protéique qui augmente (Peyraud et Astigarraga, 1998). Les nitrates et les hydrates de carbone sont corrélés négativement (tableau 9). La transformation des nitrates absorbés sous forme d'azote ammoniacal et leur incorporation dans la protéine dépend de l'enzyme nitrate réductase. Son activité peut être limitée par le substrat ou l'énergie quand les hydrates de carbone disponibles diminuent (Reid et Strachan, 1974; Demarquilly, 1977 ; Peyraud et Astigarraga, 1998). D'un autre côté, la composition en acides aminés n'est généralement pas affectée par le niveau de fumure azotée (Reid et Strachan, 1974 ; Peyraud *et al.*, 1997 ; Peyraud et Astigarraga, 1998). L'influence de la fumure azotée se manifeste aussi par une baisse significative de la teneur en matière sèche (Andries *et al.*, 1973 ; Demarquilly, 1977 ; Delaby et Peyraud, 1998).

Tableau 9 : Composition chimique (pourcentage de matière sèche, de nitrates et de glucides solubles) d'une prairie de ray-grass anglais / fléole avec différents niveaux de fumure azotée

Fumure azotée (kg N/ha/année)	Azote (% MS)	Nitrates (N-NO ₃ ⁻)		Glucides solubles (% MS)
		(% MS)	(% N total)	
0	2,27	0,011	0,5	14,6
112	2,40	0,019	0,8	14,9
224	2,59	0,035	1,4	13,0
336	2,85	0,084	3,0	12,2
448	3,30	0,254	7,7	10,6
560	3,20	0,313	9,8	10,3
673	3,54	0,408	11,5	8,8
785	3,54	0,492	13,9	8,7
897	3,74	0,531	14,2	8,2

(d'après Demarquilly, 1977)

4.4.- Fertilisation azotée et composition minérale de l'herbe

La composition minérale de la prairie présente des changements importants avec la croissance de l'herbe. Cependant, la teneur en minéraux est affectée aussi par la fumure azotée à travers des changements de la composition botanique de la prairie mixte, notamment du trèfle (Hemingway, 1999). Dans le cas des cultures de ray-grass pérenne, Hood (1976) a observé

que les effets des hautes doses de fumure (750 kg N/ha/année) sur la composition chimique de l'herbe n'étaient pas claires. La fumure azotée a affecté la composition botanique mais ces changements concernaient des graminées (réduction du ray-grass et augmentation de *Andropyron repens*, *Poa trivialis*, *Poa annua* et *Stelaria media*). Les teneurs des principaux minéraux en fonction de différents niveaux de fumure azotée et chargements sont présentées dans le tableau 10.

La teneur en calcium est généralement réduite avec la fumure azotée en raison de la diminution du trèfle dans la prairie (Stockdale et King 1980 ; Hemingway, 1999). Cependant, Yiakoumettis et Holmes (1972) n'ont pas observé d'effets significatifs de la teneur en calcium avec différents niveaux de fumure azotée (de 0 à 300 kg N/ha) ou de chargement (de 4,6 à 9,3 animaux/ha).

La teneur en sodium est généralement augmentée avec la fumure azotée (Yiakoumettis et Holmes, 1972 ; Hemingway, 1999). Stockdale et King (1980) ont observé les mêmes résultats (avec 0 et 224 kg N/ha) mais avec l'augmentation du chargement (4,4, 6,6 et 8,6 vaches/ha), la teneur de ce minéral a été réduite.

L'effet de la fumure azotée sur la teneur en phosphore est assez variable selon la bibliographie. Hood (1976) n'a pas rapporté d'effets significatifs sur une prairie de ray-grass ; cependant il y a eu une tendance à la réduction avec une dose de 750 kg N/ha/année. Sur prairie mixte, la fumure azotée a réduit la teneur en phosphore, mais l'augmentation du chargement a eu un effet inverse (Stockdale et King, 1980). D'autres auteurs ont mis en évidence une augmentation de la teneur en phosphore dans une prairie mixte avec l'augmentation de la fumure azotée (50 vs 300 kg N/ha/année ; Yiakoumettis et Holmes, 1972). Hemingway (1999) rapporte, cependant, que la teneur en phosphore n'est généralement pas affectée par la fumure azotée. C'est également le cas pour la teneur en potassium (Reid et Strachan, 1974 ; Stockdale et King, 1980 ; Hemingway, 1999). Hood (1976) a cependant rapporté une tendance à une réduction de la teneur de potassium avec la fertilisation.

La teneur en magnésium est généralement augmentée avec la fumure azotée (Yiakoumettis et Holmes, 1972 ; Hood, 1976 ; Hemingway, 1999), bien que Stockdale et King (1980) aient

observé que la fumure azotée réduit la teneur en magnésium, le niveau du chargement l'affectant positivement.

La teneur de l'herbe en manganèse n'est pas affectée par la fumure azotée (Yiakoumettis et Holmes, 1972 ; Hood, 1976), mais celle en cuivre est augmentée significativement (Yiakoumettis et Holmes, 1972) ou tend à augmenter (Hood, 1976).

Tableau 10 : Influence du chargement et de la fumure azotée sur les teneurs des principaux minéraux de l'herbe

Références	Schéma expérimental	Fertilisation (kg N/ha)	Charge (têtes/ha)	Ca (% MS)	P (% MS)	Mg (% MS)	K (% MS)	Na (% MS)	Mn (ppm)	Cu (ppm)
Yiakoumettis et Holmes, 1972	Prairies trèfle+raygrass	50	4,6	0,67	0,29	0,13	2,16	0,21	37	6,3
	Génisses et bouvillons	300	5,8	0,66	0,30	0,15	2,45	0,34	39	7,6
	Croisé Charolais 294 kg	300	9,3	0,69	0,30	0,16	2,70	0,34	36	8,4
Hood, 1976	Vaches laitières	250	2,5	0,55	0,31	0,16	2,26		38	4,8
	Prairies permanentes	750	3,1	0,65	0,29	0,19	2,20		59	6,2
Stockdale et King, 1980 #		0	4,4	0,58	0,35	0,26	2,63	0,11		
	Prairie graminées + trèfle	0	6,6	0,58	0,37	0,26	2,69	0,11		
	Vaches laitières	0	8,6	0,58	0,39	0,27	2,74	0,11		
		224	4,4	0,52	0,33	0,24	2,63	0,15		
		224	6,6	0,52	0,36	0,25	2,69	0,13		
		224	8,6	0,52	0,38	0,25	2,74	0,12		
Hemingway, 1999	Revue bibliographique	0*		0,71		0,20	2,96	0,23		
		585*		0,82		0,23	2,30	0,62		
		0		0,69		0,22	1,01	0,87		
		585		0,97		0,28	0,71	0,56		
		0		0,47		0,17	1,78	0,39		
		310		0,49		0,20	1,20	0,76		
		0		0,79		0,22	1,58	0,31		
		176		0,88		0,26	1,40	0,79		
		0					2,50			
		339					1,80			
		0		0,78		0,23	1,55			
176		0,90		0,16	1,10					
INRA, 1980	Tableaux de valeur	RGA	-	0,67	0,37	0,20		0,20	120	6,2
	Nutritive des aliments	TB	-	0,55	0,35	0,15		0,24	74	4,0
		HP	-	0,13	0,25	0,34		0,17	31	9,0

RGA : Raygrass Angalis ; TB : Trèfle Blanc ; HP : Herbe de Prairie ; # : Teneurs en minéraux (% MS) calculées selon la formule publiée par les auteurs :

Ca = 0,580 - 0,61 N , P = 0,303 + 0,01 SR - 0,013 N, Mg = 0,243 + 0,003 SR - 0,014 N, K = 2,522 + 0,25 SR, Na = 0,114 + 0,065 N - 0,007 SR x N ; SR : chargement en vaches/ha ; N : fumure azotée (0, 1) ; * : + 114 kg/ha de fumure potassique.

4.5.-Fertilisation azotée et performances zootechniques en production de viande

Si la quantité d'herbe est limitée, la fertilisation azotée peut améliorer la production d'herbe par unité de surface et entraîner une augmentation de la quantité ingérée et de la production animale tant individuelle qu'à l'hectare, même sans modification du chargement. Quand la quantité d'herbe mise à la disposition des animaux est légèrement supérieure à ce qu'ils peuvent ingérer, la fertilisation ne modifie pas les performances individuelles et n'augmente la production animale à l'hectare que dans la mesure où le chargement à l'hectare augmente parallèlement de façon ce que le supplément d'herbe produite soit valorisé par des animaux (Demarquilly, 1977 ; Horn *et al.*, 1979).

4.5.1.-Modèles de réponse des performances zootechniques de la production de viande par rapport à la fertilisation azotée

L'augmentation de la fumure azotée améliore la production de matière sèche de la prairie de façon quadratique. Cet accroissement doit être valorisé par une augmentation du chargement (Béranger et Micol, 1981). L'effet de la fumure appliquée sur les performances animales peut être alors expliqué par le même modèle quadratique (Escuder *et al.*, 1971) en suivant la courbe de production d'herbe. Cependant, dans ces conditions, il est particulièrement difficile de distinguer la part d'accroissement de la production qui aurait été obtenue par la seule augmentation du chargement de celle qui résulte du seul effet de la fumure azotée (Béranger et Micol, 1981).

A travers plusieurs essais, Holmes et Lang (1974) ont trouvé une réponse du gain à l'hectare de :

$$y = - 0,00111 x^2 + 1,06 x + A$$

La valeur de « A » est le poids initial des animaux au début de chaque essai et « x » est la fertilisation azotée (kg N/ha).

Béranger et Micol (1981) citent une relation du gain du poids vif à l'hectare (y) en fonction de la fertilisation azotée/ha (x) décrite par l'équation suivante:

$$y = - 0,00141 (\pm 0,00084) x^2 + 1,807 (\pm 0,720) x + 740$$

Nous avons calculé des modèles quadratiques du gain de poids à l'hectare en fonction de la fertilisation azotée (équation 8), du gain quotidien moyen (équation 9) et de gain du poids individuel en considérant une saison de pâturage de 180 jours (équation 10) à partir de données bibliographiques (Alder *et al.*, 1967 ; Holmes, 1968 ; Escuder *et al.*, 1971 ; Yiakoumettis et Holmes, 1972 ; Andries *et al.*, 1973 ; Holmes et Lang, 1974 ; Horton et Holmes, 1974 ; Marsh et Murdoch, 1974 ; Umoh et Holmes, 1974 ; Demarquilly, 1977 ; Horn *et al.*, 1979 ; Meadowcroft et Altman, 1982 ; Wilkins *et al.*, 1987 ; Jones, 1990 ; Tallowin *et al.*, 1990 ; Leconte, 1991 ; Micol *et al.*, 1992 ; O'Riordan, 1996 ; Johnson et Morrison, 1997). Il faut remarquer que dans le modèle considéré le chargement augmente avec la fumure azotée, pour valoriser l'augmentation de la production d'herbe en réponse à la fertilisation.

Les équations suivantes ont été déterminées :

Gain à l'ha (kg/ha) par kg N :

$$y = -0,0025x^2 + 1,4802x + 619,81 ; R^2 = 0,63 \quad (8)$$

GQM (kg/j) par kg N :

$$y = -0,000002x^2 + 0,0003x + 0,7774 ; R^2 = 0,36 \quad (9)$$

où x représente la fumure azotée en kg N/ha pour les deux équations précédentes.

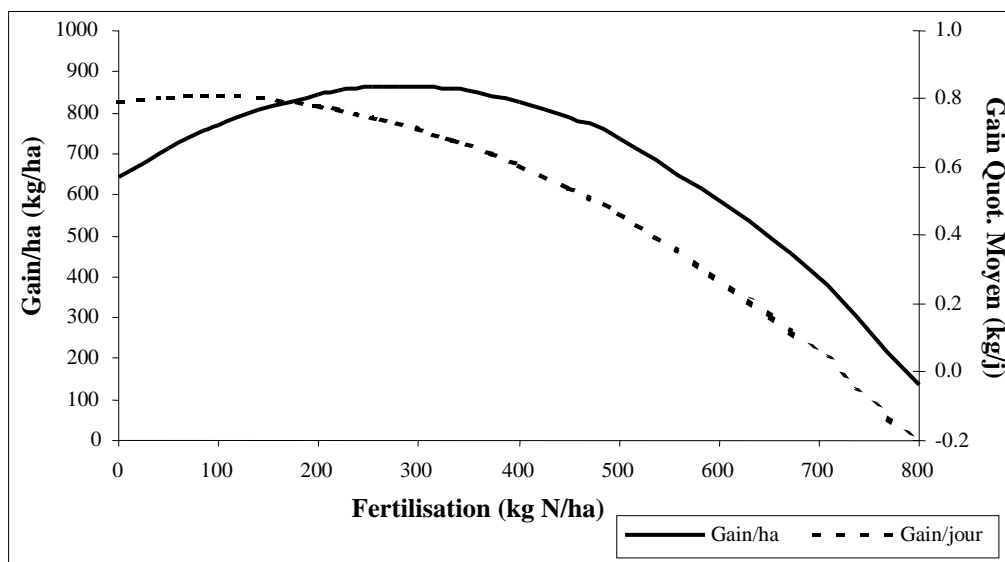
Gain individuel (kg/tête) en considérant une durée de la saison du pâturage de 180 jours par kg N :

$$y = -0,0003x^2 + 0,0506x + 139,93 ; R^2 = 0,36 \quad (10)$$

où x représente la fumure azotée en kg N/ha.

La figure 15 montre l'évolution du gain quotidien moyen et du gain à l'hectare en fonction de la fumure azotée (équations 6 et 7).

Figure 15 : Réponses des performances zootechniques (gain de poids à l'hectare et gain quotidien moyenne) dans la production de viande en fonction de la fumure azotée calculées à partir des données bibliographiques



En ce qui concerne le gain de poids vif à l'hectare, avec une fumure azotée de 400 kg N/ha/an, chaque kilo d'azote permet en moyenne 1 kg de gain de poids vif (Horton *et al.*, 1974 ; Demarquilly, 1977), ou entre 0,96 et 1,14 (Yiakoumettis et Holmes, 1972), ou entre 0,79 et 1,58 kg (Escuder *et al.*, 1971) ou proche de 1,2 (Andries *et al.*, 1973). Avec des fumures azotées s'échelonnant entre 300-350 kg, Jones (1990) a observé des gains de 1,3 kg/kg N. Néanmoins, Groot et Keuning (1968) et Meadowcroft et Altman (1982) rapporte des moindres valeurs (0,72 kg et 0,82 kg de poids vif / kg N appliqué). Holmes (1968) rapportent des valeurs de 1 kg de poids vif/ kg N jusqu'à 200 kg N/ha ; entre 0,7- 0,8 kg de poids vif / kg N jusqu'à 300 kg N/ha et de 0,28 kg de poids vif / kg N pour plus de 600 kg N/ha.

4.5.2.-Définition de la fertilisation azotée optimale dans la production de viande

Dans les années 80, dans une optique de maximalisation de la production, la fertilisation optimale dans des prairies pâturées a été définie entre 300 et 400 kg N/ha/année par Béranger et Micol (1981) et Meadowcroft et Altman (1982), à 400 kg N/ha/année par Holmes (1968), Behaeghe (1981), Doyle et Wilkins (1984), Prins (1984), Wilkins *et al.* (1987), Tallowin *et al.*

(1990) et Wilkins *et al.* (2000), et même jusqu'à 500-600 kg N/ha/année (Groot et Keuning, 1968). Cependant Holmes (1968) a rapporté que chez les bovins à viande, les réponses à la fumure azotée deviennent faibles à partir de 200 kg N/ha/année. Par ailleurs, Escuder *et al.* (1971) ont rapporté une réponse maximale avec 100 kg N/ha.

Selon Demarquilly (1977), la fertilisation optimale des prairies pâturées par des bovins à l'engrais semble se situer entre 200 et 350 kg N/ha/an suivant les conditions du milieu (la disponibilité en eau pour la plante notamment) et le type d'animal employé.

A partir des modèles calculés on peut obtenir la valeur de gain maximal à l'hectare de 839 kg avec une fumure de 296 kg d'azote à l'hectare (équation 6). Comme il a été mentionné pour le chargement, la production maximale/ha correspond à un modèle théorique obtenu à partir des conditions expérimentales hétérogènes. Dans ce modèle, on considère qu'une augmentation du chargement est nécessaire pour consommer la production d'herbe supplémentaire due à l'acroissement de la fumure azotée. Les interactions entre les productions animales d'une part et le chargement et la fertilisation azotée d'autre part seront analysées plus tard (point 5).

Les valeurs maximales du gain quotidien moyen et du gain de poids individuel sont de 0,789 kg/j avec 75 kg N/ha et de 142 kg/animal avec 84 kg N/ha (équations 7 et 8 respectivement). Avec une fumure « optimale » du point de vue du gain à l'hectare, on obtient des gains individuels de 0,69 kg/j et de 129 kg/animal. Les ordonnées à l'origine, à fumure égale à zéro, sont 620 kg/ha, 0,777 kg/j et 140 kg/animal (équations 6, 7 et 8 respectivement).

D'après l'équation de Béranger et Micol (1981), le gain maximal est égal à 1320 kg et est obtenu avec une fumure de 640 kg N/ha. Selon Holmes et Lang (1974), la valeur maximale de gain à l'hectare de 253 kg est obtenur avec 477 kg N/ha.

Les réponses des performances animales à la fumure azotée, comme pour le chargement, peuvent varier d'une année à l'autre (Groot et Keuning, 1968 ; Tallowin *et al.*, 1990). Quoique la fumure azotée diminue la variabilité de production fourragère entre les années (Leconte, 1991), la réduction des réponses en terme de production animale avec le temps peut être attribuée à l'augmentation de la fertilité du sol avec un effet cumulatif (Gordon, 1973 ;

Demarquilly, 1977 ; Prins, 1984). De plus, la réponse de la production de la prairie à la fertilisation est saisonnière et variable selon les espèces présentes (graminées/légumineuses) et influence les performances animales (Marsh et Murdoch, 1974 ; Prins, 1984).

4.6.-Fertilisation azotée et performances zootechniques dans la production laitière

D'après Demarquilly (1977), la production laitière répond mieux à la fertilisation azotée des prairies que la production de viande. La réponse resterait linéaire (15 kg de lait/ha/ kg N) jusqu'aux environs de 450 kg N/ha/an, sans diminution des performances laitières individuelles mais peut-être au détriment du gain de poids vif des vaches (Holmes, 1968). La réponse de la production laitière à la fertilisation dépend essentiellement de la réponse de la plante à l'azote et donc de l'espèce végétale utilisée et des conditions du milieu (pluviométrie, température, longueur de la période de croissance de l'herbe, etc.). Pour des applications d'azote élevées, Gordon (1973) cite que les effets moyens du niveau de fumure azotée (400 vs 700 kg/ha) n'ont pas affecté les performances individuelles (15,2 et 15,4 kg lait/vache/jour respectivement).

Inversément, la diminution de la fertilisation azotée entraîne une réduction de la production laitière par hectare. Si les performances individuelles journalières sont maintenues, la réduction de la production à l'hectare est liée à la réduction du nombre de journées de pâturage réalisé par hectare (Delaby et Peyraud, 1998).

Nous avons calculé à partir des données de bibliographie (Holmes, 1968 ; Gordon, 1973 ; Hood, 1976 ; Coombe et Hood, 1980 ; Gately *et al.*, 1984 ; Fiorelli, 1992 ; Delaby *et al.*, 1992 ; Delaby et Peyraud, 1998 ; Delaby *et al.*, 1998) une relation quadratique entre la production journalière individuelle et la fertilisation azotée (équation 11) ainsi que pour la production totale en considérant une durée de lactation de 305 jours (équation 12). Nous avons calculé une relation linéaire entre la production de lait à l'hectare et la fertilisation azotée (équation 13). Ces résultats peuvent être expliqués par l'hétérogénéité des résultats

comparés ainsi que des protocoles utilisés. Dans les essais de production laitière, on observe normalement un accroissement du chargement en même temps que la fumure azote, peu d'essais comparent uniquement l'effet de la fumure azoté. Les modèles obtenus sont :

Production journalière individuelle (kg lait/vache/jour) :

$$y = -0,00006 x^2 + 0,0506 x + 11,27 ; R = 0,52 \quad (11)$$

Production totale (kg lait/vache/lactation) :

$$y = -0.0183 x^2 + 15,43 x + 3438 ; R = 0,52 \quad (12)$$

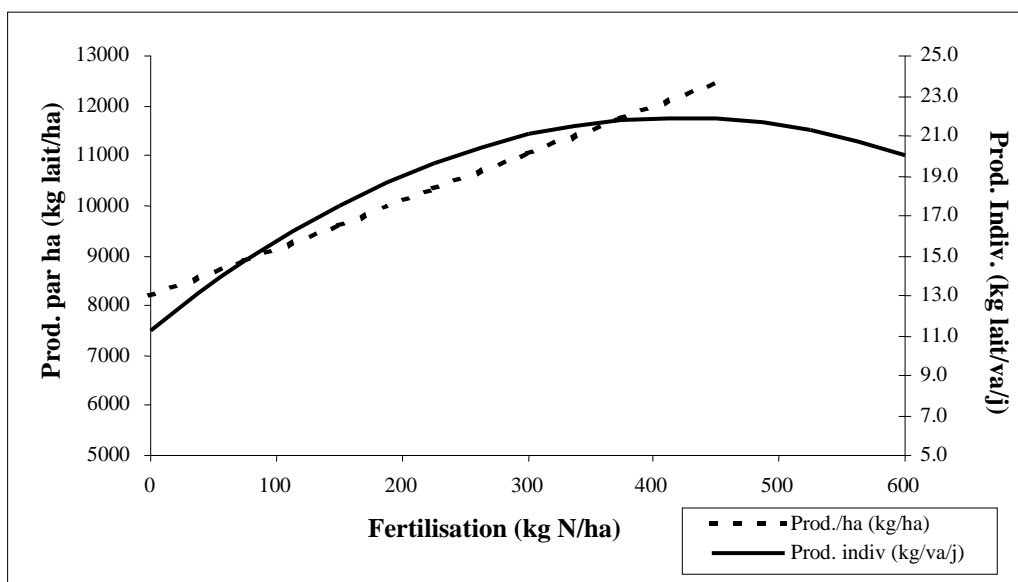
Production par hectare (kg lait/ha) :

$$y = 9,49 x + 8192 ; R = 0,49 \quad (13)$$

où x est la dose de fertilisation azotée (kg N/ha)

La figure 16 montre l'évolution de la production journalière individuelle et à l'hectare en fonction de la fumure azotée (équations 11 et 13).

Figure 16 : Réponse de la performance zootechnique (production individuelle journalière et production à l'hectare) dans la production de lait en fonction de la fumure azotée appliquée calculée à partir des données bibliographiques



4.6.1.-Définition de la fertilisation azotée optimale en production laitière

La production maximale en fonction de la fertilisation azotée obtenue à l'aide de l'équation 11 est de 22 kg lait/vache/j avec 420 kg N/ha/an. Cette valeur de fertilisation optimale est supérieure à celle de 300 kg N/ha/an rapportée par Ingram (1983), mais est proche de celle de 450 kg N/ha/an de Holmes (1968).

La production minimale obtenue sans application de fumure azotée peut se situer aux alentours de 8200 kg de lait par ha (équation 13). Pour chaque unité d'azote appliquée, cette valeur minimale s'accroît de 9,5 kg lait/ha. Cette valeur étant inférieure aux réponses rapportées par plusieurs auteurs (15 kg de lait/ha/ kg N, Holmes, 1968 et 14,1 kg lait/ha/kg N, Delaby et Peyraud, 1998). Cependant il faut souligner que l'équation a été calculée uniquement à partir des résultats d'essais testant uniquement la fertilisation azotée.

L'extrapolation du modèle au-delà de 450 kg N/ha/an avec les résultats de bibliographies analysées serait alors risquée selon les observations de Demarquilly (1977) et Delaby et Peyraud (1998), qui ont rapporté une relation linéaire entre la production du lait/ha jusqu'à ce niveau de fertilisation azotée. Avec un niveau de 450 kg N/ha/an, la production de lait à l'hectare s'élève à 12400 kg.

5. INFLUENCE DE LA FERTILISATION AZOTEE ET DU CHARGEMENT SUR LES PERFORMANCES PHYTOTECHNIQUES ET ZOOTECHNIQUES

5.1.-Chargement, fertilisation et paramètres phytotechniques

Les effets simultanés du chargement et de la fumure azotée se traduisent principalement par un changement de la composition botanique de la prairie, notamment le rapport trèfle/graminées et ainsi que la valeur nutritionnelle du fourrage consommé (tableau 11). La proportion en trèfle dépend non seulement de l'apport d'engrais azoté mais aussi de la hauteur de l'herbe qui reflète le mode de conduite du pâturage. Si l'application d'azote dans des prairies mixtes au printemps ne réduit généralement pas la proportion de trèfle, les effets de la hauteur d'herbe sont complexes. Si la hauteur d'herbe est élevée au printemps, le trèfle blanc souffre de l'ombre des graminées et il en résulte une diminution du taux de croissance des pétioles, des taux d'apparition des feuilles et de la ramification des stolons, comme c'est le cas également à basses températures. Par contre, avec des chargements élevés, la ramification du trèfle blanc est favorisée par l'augmentation de la lumière et la diminution de sa filtration par le gazon. Il y a cependant un effet négatif dû aux matières fécales, aux urines (recyclage d'azote) et au piétinement, surtout dans les sols lourds du type argileux (Barthram *et al.*, 1992).

Plus précisément, Laidlaw et Steen (1989) ont observé que la densité des points de croissance du trèfle a été réduite pendant la troisième année d'un essai testant des niveaux de fumure azotée s'échelonnant de 60 à 360 kg N/ha et des chargements variant de 9,0 à 11,3 taurillons/ha. Néanmoins la diminution du nombre de points de croissance a été moins sévère dans le lot 60 kg N/ha avec le chargement faible. La diminution de la densité des points de croissance explique la chute de la proportion de trèfle normalement rapportée en prairies mixtes, mais le traitement 60 kg N/ha et une faible charge ont donné lieu à une accumulation d'herbe qui a réduit la ramification des stolons. De même, Harris et Clark (1996) ont rapporté que la proportion de trèfle a été réduite dans les parcelles avec fumure (200 et 400 kg vs 0 kg N/ha) et faible chargement (3,24 vs 4,53 animaux/ha).

Chez les moutons, Cowlshaw *et al.* (1985) ont observé également que l'application de fumure azotée (200 kg vs 0 kg N/ha) a réduit le pourcentage de trèfle mais avec des hauts chargements (55, 45, 35, 25 animaux/ha). Dans ce cas particulier, la diminution du trèfle a été attribuée à la compétitivité plus élevée des graminées et à la défoliation intense du trèfle lors du pâturage sélectif.

Barthram *et al.* (1992) ont observé, dans des prairies pâturées par des moutons, que la proportion d'espèces non semées est élevée quand la hauteur de l'herbe est faible et que de l'engrais azoté est apporté. En effet, lorsque le ray-grass est trop fréquemment défolié, d'autres espèces peuvent s'établir (*Poa annua*, *Alopecurus geniculatus*, *Agrostis tenuis*) : on se trouve alors en condition de surpâturage.

Tableau 11 : Influence du chargement et de la fumure azotée sur le pourcentage de trèfle et la composition chimique de l'herbe

Références	Schéma expérimental	Fertilisation (kg N/ha)	Charge (têtes/ha)	Trèfle (%)	Prot. Brute (g MS)	Nitrates (g/kg MS)	Mat. Sèche (%)
Groot et Keuning, 1968	Gén. bouv. et taureaux	206	2,2		217	2,3	16,2
	race Dutch, 306 kg	543	2,2		246	7,2	15,5
Yiakoumettis et Holmes, 1972	Prairies permanente TB+RGA	50	4,6		130		24,2
	Génisses et bouvillons	300	5,8		184		
	Charolais x Ayshire et F	300	7,0				20,5
	294 kg	300	8,2				
		300	9,3		204		19,3
Andries et al., 1973	Boeufs Moyenne et Haute Belgique 518 kg	100	4,7	28	182	1,7	16,9
		200	6,0	16	194	2,9	16,4
	RGA+Fétuque+TB	300	7,3	7	211	4,7	15,5
Holmes et Lang, 1974	Prairies TB+RGA						
	Bouvillons	51	3,7	24 [#]			
	F, Angus et croisés 330 kg	263	4,8	8 [#]			
Marsh et Murdoch, 1974	Bouvillons F	400	5,0		187		
	263 kg	400	7,5		198		
	TB+RGA	800	5,0		211		
		800	7,5		224		
Hood, 1976	Vaches laitières	250	2,5		158	0,45	24,8
	Prairies permanentes	750	3,1		204	2,58	23,6
Demarquilly, 1977	Revue Bibliographique (RGA+Fléole)	0			142	0,11	
		112			150	0,19	
		224			162	0,35	
		336			178	0,84	
		448			206	2,54	
		560			200	3,13	
		673			221	4,08	
		785			221	4,92	
	897			234	5,31		
Horn et al., 1979	Vaches allaitantes + Veaux, Angus x H	67	1,02		203		
	Cynodon dactylon	202	1,30		207		
		336	1,85		218		
Meadowcroft et Altman (1982)	Génisses et bouvillons	63	3,19				
	201 kg	63	4,78	28,0			
	Prairies permanentes	63	6,37				
	RGA+TB	219	4,78				
		219	6,37	7,0			
		219	7,96				
		375	6,37				
		375	7,96	2,0			
	375	9,55					
Laidlaw, 1984	Essai des cultivars du TB	0		44,3 [#]			
		30		36,5 [#]			
	Parcelles fauchées	60		28,6 [#]			
		90		13,2 [#]			

Tableau 11 (suite) : Influence du chargement et de la fumure azotée sur le pourcentage de trèfle et la composition chimique de l'herbe

Références	Schéma expérimental	Fertilisation (kg N/ha)	Charge (têtes/ha)	Trèfle (%)	Prot. Brute (g MS)	Nitrates (g/kg MS)	Mat. Sèche (%)
Frame, 1987	Prairies fauchées	0		55,1 [#]			
	et pâturées	80		36,5 [#]			
Frame et Boyd, 1987	Prairies permanente	0		52,4 [#]	204*		
	Fauchées	120		27,1 [#]	171*		
	TB+RGA	240		10,2 [#]	149*		
		360		4,1 [#]	155*		
Tallowin et al., 1990	Bouvillons	0			163*		
	H x F	100			180*		
	200-250 kg	200	3-3,5 t		217*		
		400	MO/ha		241*		
		800	(5-6 cm)		275*		
Leconte, 1991	Bouvillons	0	5,4	44	266*		
	365 kg	55	5,8	31	209*		
	TB+RGA	(RGA) 258	5,7	-	185*		
Barthram et al., 1992	Moutons	0	2,5 cm	9,3			
	Border Leicester x	0	3,5 cm	9,3			
	Scotish Blackface	0	5,0 cm	8,8			
	TB+RGA	120	2,5 cm	2,1			
		120	3,5 cm	2,6			
		120	5,0 cm	2,4			
Cuttle et al., 1992	Moutons et agneaux	152	4-5 cm	35 [#]			
	Welsh halfbread	198	4-5 cm	11 [#]			
	TB+RGA	196	4-5 cm	4 [#]			
Delaby et al., 1992	Vaches laitières	0	1,13		163		23,2
	Prairie perm. et temp.	100	1,40		180		21,8
	TB+RGA	260	1,78		228		19,4
Caradus et al., 1993	Essai des cultivars	0		11,8 [#]			
	du TB	25		13,0 [#]			
	Parcelles fauchées	100		9,5 [#]			
		225		6,0 [#]			
Schils et Kraak, 1994	Prairie fauchée et	0		50,5			
	Pâturée	25		47,3			
	par vaches traites	50	4-5 cm	46,3			
		75		42,3			
		100		39,0			
Harris et al., 1996	Vaches F	0	3,24	16,8 [#]			
	Parcelles fauchées	0	4,48	15,4 [#]			
	TB+graminées	215	3,24	10,6 [#]			
		206	4,48	14,9 [#]			
		380	3,24	2,2 [#]			
	371	4,48	6,8 [#]				

Tableau 11 (suite) : Influence du chargement et de la fumure azotée sur le pourcentage de trèfle et la composition chimique de l'herbe

Références	Schéma expérimental	Fertilisation (kg N/ha)	Charge (têtes/ha)	Trèfle (%)	Prot. Brute (g MS)	Nitrates (g/kg MS)	Mat. Sèche (%)
O’Riordan, 1996	Génisses Charolais	I- 50	3,5	12			
	564 kg	I- 50	4,4	12			
	TB+RGA	I- 200	5,3	2,5			
	I- prairie ancienne	II- 50	3,5	15			
	II- prairie ressemée	II- 50	4,4	15			
		II- 200	5,3	6,5			
Johnson et Morrison, 1997	Génisses F x H 222 kg	0	5,7	45,0 [#]			
	Prairie perm. TB+RGA	50	5,6	43,5 [#]			
Peyraud <i>et al.</i>, 1997	Vaches laitières étable	0	-		106		20,5
	RGA fauché	250	-		150		16,0
Delaby et Peyraud, 1998	Prairies permanentes et Temporaires	0	1,7	28	158		24,2
	Vaches laitières	100	2,0	26	177		22,9
		320	2,5	5	255		20,0
Delaby <i>et al.</i>, 1998	Prairies permanentes	100	4,1		164		
	Vaches laitières	320	2,7		209		

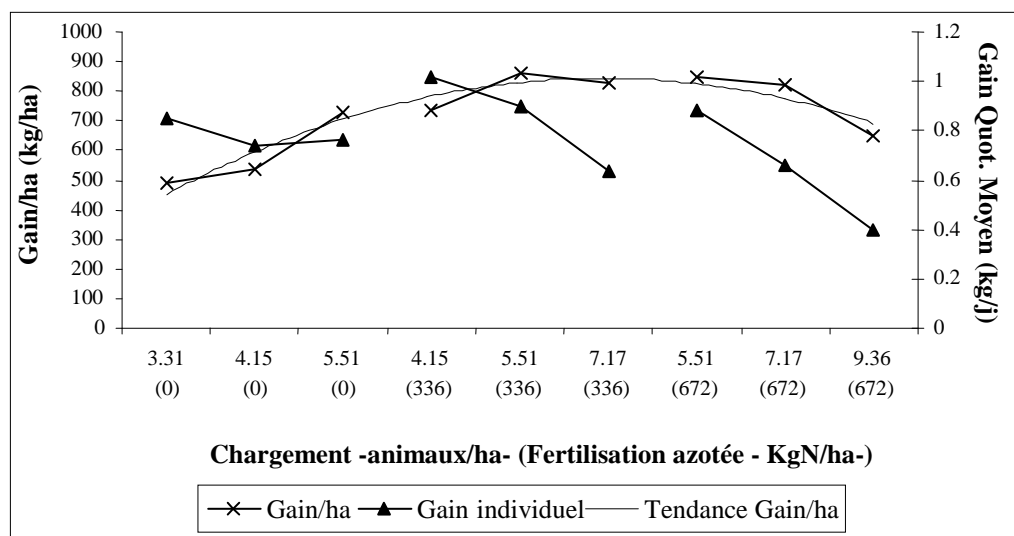
TB : Trèfle Blanc ; RGA : Ray-grass Anglais ; H : Hereford ; F : Frisonne ;

: pourcentage de la MS ; * : en considérant N x 6,25 ; † : offerte de matière organique par hectare.

Note : Dans le cas d’essais sur plusieurs années ou plusieurs sites expérimentaux, les valeurs présentées sont les moyennes obtenues.

5.2.-Chargement, fertilisation et performances animales dans la production de viande

Comme il a été déjà décrit, le principal effet de la fumure azotée est un accroissement de la production de matière sèche de la prairie, qui doit être valorisé par une augmentation du chargement (Béranger et Micol, 1981). Le chargement et l’application de fumure azotée qui déterminent le niveau d’intensification doivent être ajustés afin d’offrir une quantité de fourrage adéquate par animal (Umoh et Holmes, 1974). La figure 17 présente l’évolution moyenne des performances animales (trois années d’essai et trois endroits différents) obtenues par Alder *et al.* (1967).

Figure 17 : Evolution du gain quotidien moyen et du gain à l'hectare en fonction des différents niveaux de fumure azotée et du chargement

 (adapté de Alder *et al.*, 1967)

Les gains à l'hectare augmentent jusqu'à ce que l'accroissement de la production d'herbe permise par la fumure azotée soit suffisante pour compenser l'augmentation du chargement (Barthram *et al.*, 1992). Cependant, avec des chargements très intenses, les fumures élevées ne sont plus capables de compenser l'augmentation de la pression de pâturage exercée par les animaux et les gains à l'hectare diminuent. Effectivement, le gain individuel chute lorsque les niveaux de fumure azotée et de chargement augmentent, et cette chute est d'autant plus importante que les niveaux de fumure azotée sont élevés. De même, Jones (1990) rapporte qu'à chaque augmentation du niveau de fumure azotée, les gains individuels des bouvillons diminuent linéairement lorsque le chargement augmente, l'augmentation de la fumure azotée améliorant les gains surtout à des faibles chargements (voir tableau 12).

Tableau 12 : Relation entre le gain de poids de bouvillons et le chargement avec plusieurs niveaux de fumure azotée

Fumure azotée (kg N /ha/ année)	Coefficients du modèle $y = ax + b$	
	a	B
350	-26,9	365,9
312	-24,8	344,7
220	-19,5	380,3
128	-14,2	197,3
90	-12,1	157,6

(d'après Jones, 1990)

Chez des moutons, Cowlshaw *et al.* (1985) ont observé que la fumure azotée n'a pas affecté le gain de poids vif à l'hectare pour des chargements faibles mais a augmenté les performances avec des hauts chargements : le supplément d'herbe produit grâce à la fumure azotée a été plus efficace avec un chargement élevé qu'avec un faible chargement. Dans le même ordre d'idée, les effets négatifs des chargements élevés sur les performances animales sont aggravés quand aucune fumure azotée n'est appliquée. Lorsque le surplus de production de matière sèche produit grâce à la fertilisation azotée n'est pas utilisé par les animaux, le chargement optimal n'est pas atteint et les performances n'augmentent pas (Umoh et Holmes, 1974) et on risque de se trouver dans des conditions de sous-pâturage.

Avec des fumures très élevées, la réponse à l'azote devient inférieure, d'une part parce que la plante répond plus faiblement à l'azote, d'autre part parce que l'augmentation du chargement pour maintenir la même pression de pâturage entraîne une augmentation importante de matières fécales et d'urines et du piétinement qui diminuent l'appétibilité de l'herbe. La quantité d'herbe utilisable à l'hectare augmente donc peu et les animaux disposent de moins d'herbe. En conséquence, la production animale par hectare n'augmente plus et les performances individuelles diminuent (Demarquilly, 1977).

O'Riordan (1996) a enregistré une augmentation de poids vif quand il y avait plus de trèfle dans la prairie. Le moindre gain des taurillons observé avec des fertilisations azotées élevées peut être expliqué pour une réduction de la valeur nutritive du pâturage (chute du pourcentage du trèfle) et par un fort chargement conduisant à une contamination plus élevée par les fèces (Holmes et Lang, 1974).

5.2.1.-Définition des niveaux optimaux de chargement et de fertilisation dans la production de viande

Les niveaux de chargement et d'engrais azoté optimaux sont ceux qui permettent d'obtenir les gains individuels et par hectare les plus élevés.

Les figures 18 et 19 donnent l'évolution des gains de poids individuels et par hectare en fonction des niveaux de chargement et de fumure azotée, en utilisant des résultats de plusieurs essais (présentés au tableau 13).

Figure 18 : Gain quotidien moyen en fonction du chargement et du niveau de fumure azotée, calculés à partir de plusieurs essais de la bibliographie.
selon le modèle : $y = -0,000002 N^2 + 0,0003N - 0,0479 C^2 + 0,0248 C + 0,9431$; où N = fumure azotée en kg N/ha/an et C = chargement en animaux/ha

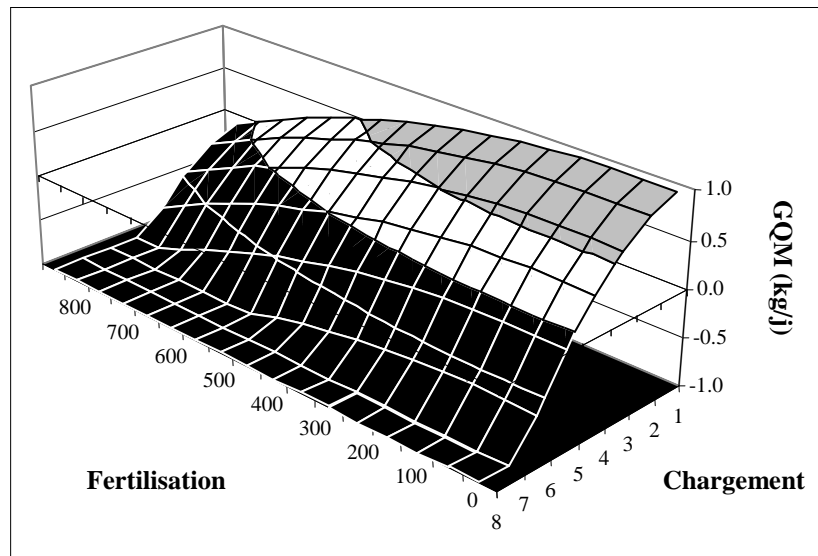
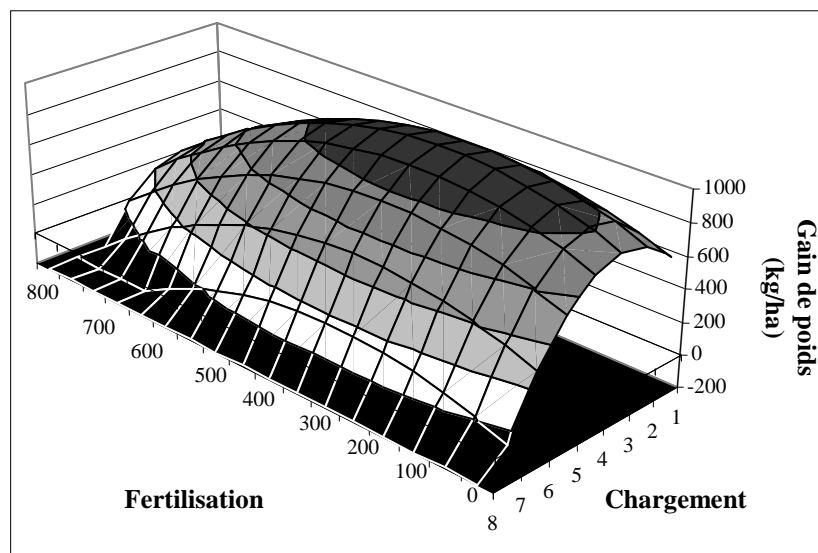


Figure 19 : Gain de poids vif à l'hectare en fonction du chargement et du niveau de fumure azotée, calculés à partir de plusieurs essais de la bibliographie.
selon le modèle : $y = -0,0027 N^2 + 1,5528 N - 48,377 C^2 + 282,66 C + 328,9055$; où N = fumure azotée en kg N/ha/an et C = chargement en animaux/ha



Les figures 20 et 21 montrent l'évolution de différents niveaux de gains individuels et par hectare en fonction du chargement et de la fumure azotée.

Figure 20 : Niveaux de gain quotidien moyen en fonction du chargement et de la fumure azotée calculés à partir de plusieurs essais de la bibliographie selon le même modèle de la figure 18.

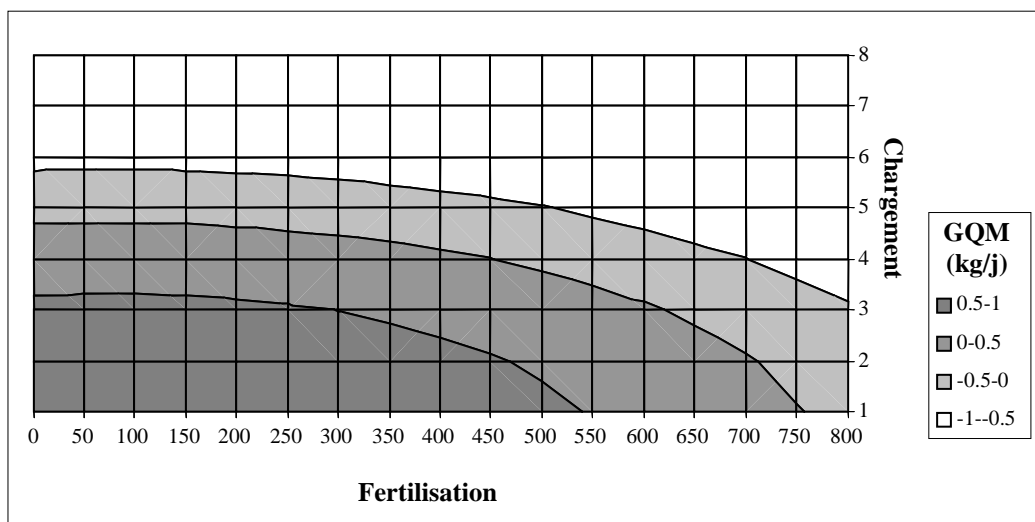
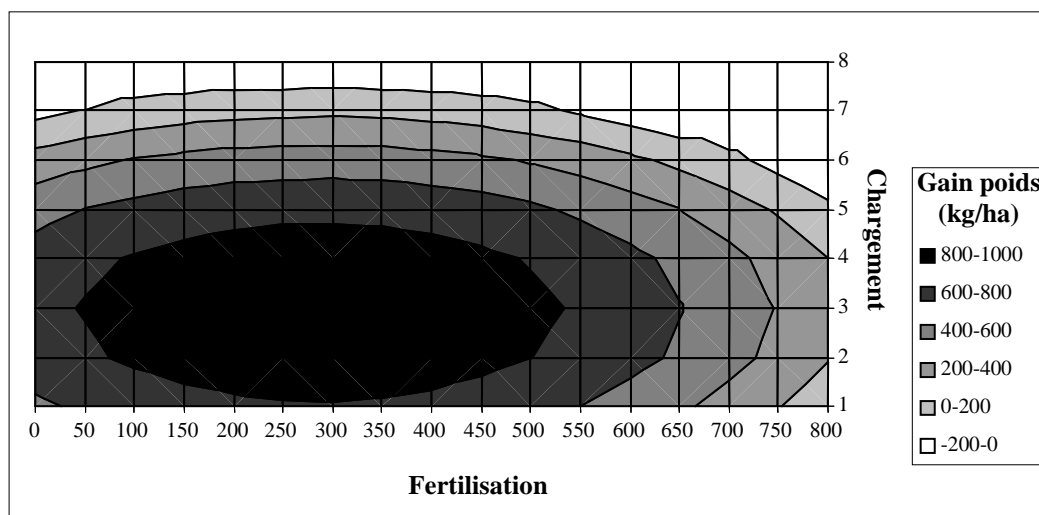


Figure 21 : Niveau de gain de poids à l'hectare en fonction du chargement et de la fumure azotée calculés à partir de plusieurs essais de la bibliographie selon le même modèle de la figure 19



Les gains maximaux à l'hectare calculés ont été de 964 kg avec un chargement de 3 animaux/ha et une fumure azotée de 300 kg N/ha/an. Les gains quotidiens moyens ont été maximaux avec 1 animal/ha et une fumure azotée de 50 à 100 kg N/ha.

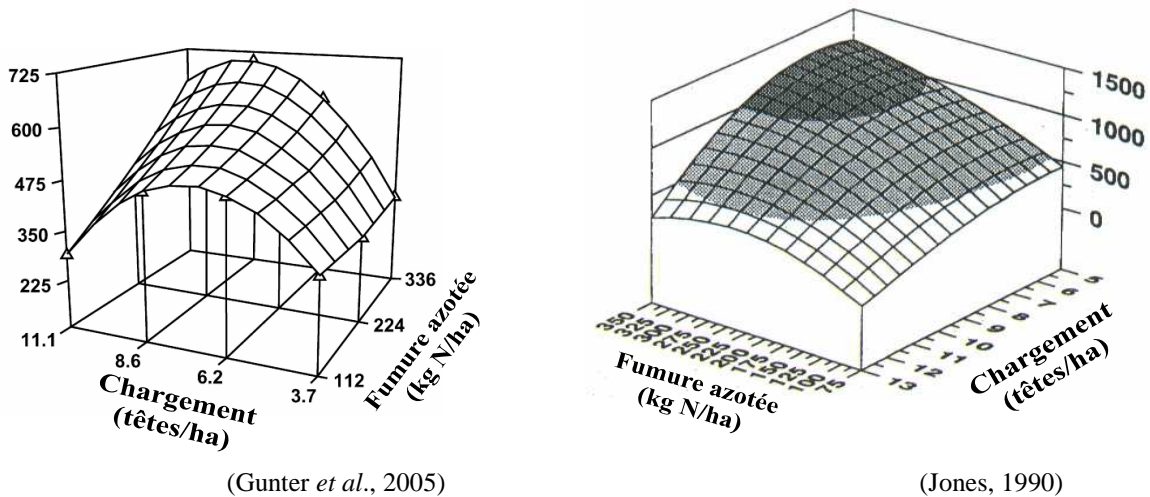
Jones (1990) a obtenu des gains maximaux à l’hectare (1233 kg/ha) avec un chargement de 6,6 bouvillons et une fumure azotée de 350 kg N/ha/année. Le modèle qui décrit la relation de gain individuel par niveau de chargement et de fumure azotée a été calculé comme suit :

$$SLWG = 80,02 (\pm 50,06) - 14,18 (\pm 8,464) SR + 1,284 (\pm 0,208) NR + 0,4089 (\pm 0,4311) SR^2 - 0,001098 (\pm 0,0003) NR^2 - 0,05725 (\pm 0,016) SR.NR ; r = 0,988$$

où SLWG est le gain du poids vif des bouvillons (kg/tête), NR est la fumure azotée (kg N/ha) et SR est le chargement (bouvillons/ha) (figure 22).

De même, Meadowcroft et Altman (1982) ont obtenu des gains maximaux (environ 0.7 kg/j et 840 kg/ha) avec 375 kg N/ha et 5,5-6 génisses/ha. Gunter *et al.* (2005) rapportent des gains maximaux avec 3,7 bouvillons/ha et un niveau de fertilisation de 336 kg N/ha, avec un modèle de réponse quadratique entre la production par hectare, chargement (C ; têtes/ha) et la fumure azotée (N ; kg N/ha) : Gain PV (kg/ha) = -75,573 + 172,562 C - 1,273 N - 13,566 C² + 0,00131 N² + 0,199 C N (figure 22).

Figure 22 : Production à l’hectare (kg/ha) en fonction du niveau du chargement et fumure azotée



Le tableau 13 présente l’influence du chargement et de la fumure azotée sur les performances d’animaux en production de viande.

Tableau 13 : Influence du chargement et de la fumure azotée sur les performances d'animaux en production de viande

Références	Schéma expérimental	Fertilisation (kg N/ha)	Charge (têt./ha)	Performance Zootechnique		GQM (kg/j)		Gain (kg/ha)		Gain PV/kg N (kg PV/kg N/ha)
				GQM (kg/j)	Gain (kg/ha)	(base 100) ^a	(base 100) ^a			
Hull et al., 1961	Bouvillons H, 280 kg	-	2,60	0,824	269	100	100	100	100	-
	TB + Dactylis irrigué	-	4,33	0,783	427	95	159	159	159	-
	126 j	-	5,88	0,655	486	80	180	180	180	-
		-	7,56	0,596	568	72	211	211	211	-
		-	9,00	0,364	413	44	153	153	153	-
Alder et al., 1967	Prairies permanente.	0	3,31	0,850	493	100	100	100	100	
	TB + RGA	0	4,15	0,743	538	87	87	109	109	
	Bouvillons	336	5,51	0,760	729	89	89	148	148	
	H x F	336	4,15	1,020	738	100	120	100	150	0,66
	370 kg	336	5,51	0,900	860	88	106	117	174	
	173 j	336	7,17	0,633	827	62	74	112	168	
		672	5,51	0,883	845	100	104	100	171	-0,11
		672	7,17	0,660	821	75	78	97	167	
	672	9,36	0,400	650	45	47	77	132		
Alder et al., 1967	Revue bibliographique.	0-206								1,42
		0-206								1,41
		0-206								0,43
		0-233								0,95
		0-242								0,2
		0-309								0,82
		0-412								0,83
	0-412								0,41	
Groot et Keuning, 1968	Gén. bouv. et taureaux	206	2,2	1,01*	577	100	100	100	100	
	race Dutch 306 kg	543	2,2	1,04*	773	103	134	134	134	0,82
Holmes, 1968	Revue bibliographie.	0	4,6		820			100	100	
	Vaches	150	8,1		1460			178	178	> 1,0
	viandeuses	300	9,7		1750			213	213	> 1,0
		450	10,9		1970			240	240	0,7-0,8
		600	-		-			-	-	0,28
Escuder et al., 1971	PrairiesTB + RGA	84	6,8	1,27	719	100	100	100	100	
	Bouvillons et	84	8,1	1,09	727	86	86	101	101	0,90
	Génisses 264 kg	254	10,0	1,01	857	100	80	100	119	
	84 j	254	11,8	0,89	897	88	70	105	125	
	PrairiesTB + RGA	150	6,8	1,00	1084	100	100	100	100	
	Bouvillons et	150	8,1	0,75	922	75	75	85	85	0,36 - 1,58
	Génisses 264 kg	450	10,0	0,72	1193	100	72	100	110	
168 j	450	11,8	0,59	1118	82	59	94	103		

Tableau 13 (suite) : Influence du chargement et de la fumure azotée sur les performances d'animaux en production de viande

Références	Schéma expérimental	Fertilisation		Performance Zootechnique		GQM (kg/j)		Gain (kg/ha)		Gain PV/kg N (kg PV/kg N/ha)
		(kg N/ha)	(têt./ha)	GQM (kg/j)	G ain (kg/ha)	(base 100) ^a	(base 100) ^a	(base 100) ^a	(base 100) ^a	
Yiakoumettis et Holmes, 1972	Prairies perm.	50	4,6	0,83	631	100	100	100	100	0,96 - 1,14
	TB+RGA	50	5,8	0,68	680	83	83	108	108	
	Génisses et bouvillons	300	5,8	0,88	839	100	107	100	133	
	Charolais x Ayshire et F	300	7,0	0,88	917	100	107	109	145	
	294 kg	300	8,2	0,75	993	84	90	118	157	
		300	9,3	0,53	836	59	64	100	132	
Andries et al., 1973	Boeufs Moyenne et Haute Belgique	100	4,7	0,967	518	100		100		1,20
	518 kg	200	6,0	0,864	638	89		123		
	RGA+Fétuque+TB ; 122 j.	300	7,3	0,796	750	82		145		
Béranger, 1973	Vaches allaitantes et veaux	40	1,38	0,491	88	100		100		0,48
	541 et 116 kg	Va. 140	1,91	0,531	136	108		155		
	135 j	Ve. 40	1,38	1,075	196	100		100		
		Ve. 140	1,91	1,035	259	96		132		
Holmes et Lang, 1974	Prairies TB+RGA									0,54
	Bouvillons	51	3,7	0,945	569	100		100		
	F, Angus et crois. 330 kg ; 165 j	263	4,8	0,872	683	92		120		
Horton et Holmes, 1974	Prairies permanentes.	50	5,4	0,79	794	100	100	100	100	0,84
	TB + RGA	50	7,1	0,57	833	72	72	105	105	
	Bouvillons et Génisses 217 kg	504	8,1	0,74	1142	100	94	100	144	
	168 j	504	9,8	0,64	1174	86	81	103	148	
		504	11,6	0,59	1273	79	74	112	160	
Marsh et Murdoch, 1974	Bouvillons F	400	5,0	0,87	1130	100	100	100	100	0,14
	263 kg	400	7,5	0,69	1237	79	79	109	109	
	TB + RGA	800	5,0	0,86	1217	100	100	100	108	
	168 j	800	7,5	0,67	1264	78	77	104	112	
Umoh et Holmes, 1974	Génisses	50	5,9	1,18	583	100	100	100	100	1,14
	F et F croisées	50	7,4	0,88	547	75	75	94	94	
	Prairies permanente	182	7,4	1,09	688	100	92	100	118	
	RGA	182	8,9	0,99	743	91	84	108	127	
	84 j	329	10,4	0,96	841	100	81	100	144	
		329	11,8	1,05	1037	109	89	123	178	
Demarquilly, 1977	Revue bibliographique	FDP 80	2,8	0,993	498	100		100		1,28
		FDP 180	3,7	1,114	721	112		145		
		RGA 280	4,3	1,016	754	102		151		
		RGA200	5,1	0,908	905	100		100		
		RGA300	5,7	0,931	1027	103		113		
		RGA 400	6,3	0,916	1104	101		122		

Tableau 13 (suite) : Influence du chargement et de la fumure azotée sur les performances d'animaux en production de viande

Références	Schéma expérimental	Fertilisation		Performance Zootechnique		GQM (kg/j)		Gain (kg/ha)		Gain PV/kg N
		(kg N/ha)	(têt./ha)	GQM (kg/j)	G ain (kg/ha)	(base 100) ^a	(base 100) ^a	(kg PV/kg N/ha)		
Hennessy et Robinson, 1979	Vaches allaitantes	Va. -	0,93	0,151 [#]	37 [#]	100	100	100	100	-
	H et	Va. -	1,22	0,058 [#]	14 [#]	38	38	38	38	-
	veaux, 490 et 33	Va. -	1,49	-0,192 [#]	-47 [#]	-128	-128	-128	-128	-
	kg	Ve. -	0,93	0,950	158	100	100	100	100	-
	TB+Dactyle+	Ve. -	1,22	0,920	201	97	97	127	127	-
	Fétuque 240 j	Ve. -	1,49	0,828	220	87	87	139	139	-
Horn et al., 1979	Vaches allaitantes	Va. 67	1,02	0,445	78	100	100	100	100	
	+ Veaux, Angus x	Va. 202	1,30	0,411	91	92	92	118	118	0,10
	H Cynodon	Va. 336	1,85	0,423	134	95	95	173	173	0,21
	dactylon	Ve. 67	1,02	0,807	141	100	100	100	100	
	171 j	Ve. 202	1,30	0,861	191	107	107	136	136	0,38
		Ve. 336	1,85	0,829	262	103	103	186	186	0,45
Béranger et Micol, 1981	Bœuf	160	4,40	1,328	833	100	100	100	100	
	Prairie RGA	160	4,80	1,109	829	83	83	100	100	
		280	5,20	0,954	843	100	72	100	101	0,15
		280	5,80	0,790	854	83	59	101	103	
Meadowcroft et Altman, 1982	Génisses et bouvillons	63	3,2	0,84	433	100	100	100	100	
	201 kg	63	4,8	0,68	513	80	80	118	118	
	Prairies permanentes	63	6,4	0,54	536	64	64	124	124	Moyenne:
	RGA+TB	219	4,8	0,82	617	100	97	100	142	0,72
		219	6,4	0,66	659	81	78	107	152	
		219	8,0	0,56	685	69	66	111	158	
		375	6,4	0,78	774	100	92	100	179	
		375	8,0	0,64	790	82	76	102	182	
	375	9,6	0,49	719	63	58	93	166		
Smith et al., 1985	Bouvillons, 251 kg	-	0,59	1,06	97	100	100	100	100	-
	Prairie Andropogon	-	0,67	1,06	111	100	100	114	114	-
	71 j	-	0,80	1,06	132	100	100	136	136	-
Wilkins et al., 1987	Génisses	0		0,70	568	100	100	100	100	
	H x F	100		0,70	777	100	100	137	137	2,09
	200 kg poids	200	3-4 t	0,71	877	101	101	154	154	1,55
	Prairies permanentes	400	MO/ha	0,74	1140	106	106	201	201	1,43
30% RGA	800	α	0,70	825	100	100	145	145	0,32	
Jones, 1990	Bouvillons	50	5,1		332			100	100	
	Shorthorn	100	6,3		556			167	167	4,50
	154 kg	150	6,6		762			230	230	4,10
	Pangola grass	200	6,8		935			282	282	3,50
	(Modèles de prédiction)	250	6,8		1071			323	323	2,80
		300	6,7		1170			352	352	2,00
	350	6,6		1233			371	371	1,30	

Tableau 13 (suite) : Influence du chargement et de la fumure azotée sur les performances d'animaux en production de viande

Références	Schéma expérimental	Fertilisation Charge		Performance Zootechnique		GQM (kg/j)		Gain (kg/ha)		Gain PV/kg N
		(kg N/ha)	(têt./ha)	GQM (kg/j)	Gain (kg/ha)	(base 100) ^a	(base 100) ^a	(kg PV/kg N/ha)		
Tallowin et al., 1990	Bouvillons	0		0,70	229	100		100		
	Hx F	100	3-3,5	0,66	298	95		130	0,69	
	200-250 kg	200	MO/ha \square	0,68	363	98		159	0,67	
		400		0,72	392	103		171	0,41	
		800		0,69	375	98		164	0,18	
Leconte, 1991	Bouvillons 365 kg	0	5,4	1,26	1025	100		100		
	TB + RGA	55	5,8	1,27	1103	100		108	1,42	
	150 j	RGA 258	5,7	1,26	1082	100		106	0,22	
Micol et al., 1992	Bœufs 400-600 kg	0	4,0	0,69	460	100	100	100	100	
	Prairies perm.	0	5,2	0,57	490	83	83	107	107	
	TB + RGA	140	5,7	0,74	720	100	107	100	157	1,43
	168 j	140	7,4	0,50	630	68	72	88	137	
Drennan et Keane, 1995	Vaches allaitantes	Va. 57	1,69	0,533	197	100		100		
	+ veaux, L x F.	Va. 57	2,04	0,413	184	78		93		
	540 et 73 kg	Va. 239	2,04	0,496	220	93		112	0,17	
	186 j.	Ve. 57	1,69	1,201	375	100		100		
		Ve. 57	2,04	1,141	429	95		114		
		Ve. 239	2,04	1,234	463	103		124	0,34	
O'Riordan, 1996	Bouvillons Charolais	50	3,5	1,087*	727	100		100		
	564 kg	50	4,4	1,027*	718	94		99		
	TB+ RGA	220	5,3	0,927*	703	85		97	-0,11	
	I- prairie ancienne	50	3,5	1,027*	718	100		100		
	II- prairie resemée	50	4,4	0,970*	709	94		99		
		220	5,3	0,893*	698	87		97	-0,09	
Cilliers et al., 1997	Taurillons Afrikans, 395 kg	0		0,44	51,7	100		100		
	Prairies des graminées	40		0,64	74,3	145		144	0,57	
	tropicales 45% digestib.	80		0,75	86,5	170		167	0,44	
	<i>in vitro</i>			0,52†	70,9	100		100		
				0,78†	81,4	77		115		
				1,56†	0,25	59,4	28		84	
Johnson et Morrison, 1997	Génisses F x H 222 kg	0	5,7	1,14	1474	100		100		
	TB+ RGA ; 168 j	50	5,6	1,22	1604	107		109	2,60	

Tableau 13 (suite) : Influence du chargement et de la fumure azotée sur les performances d'animaux en production de viande

Références	Schéma expérimental	Fertilisation (kg N/ha)	Charge (têt./ha)	Performance Zootechnique		GQM (kg/j)		Gain (kg/ha)		Gain PV/kg N
				GQM (kg/j)	Gain (kg/ha)	(base 100) ^a	(base 100) ^a	(kg PV/kg N/ha)		
	Veaux 231 kg moyen	112	3,7	0,63	327	100	100	100	100	2,9
	Prairies gramminées, 3% trèfle.	112	6,2	0,63	490	100	100	150	150	4,4
		112	8,6	0,43	472	68	68	144	144	4,2
		112	11,1	0,37	284	59	59	87	87	2,5
		224	3,7	0,59	304	100	94	100	93	1,4
Gunter et al., 2005		224	6,2	0,65	561	110	103	185	172	2,5
		224	8,6	0,52	566	88	83	186	173	2,5
		224	11,1	0,33	432	56	52	142	132	1,9
		336	3,7	0,70	365	100	111	100	112	1,1
		336	6,2	0,67	584	96	106	160	179	1,7
		336	8,6	0,62	683	89	98	187	209	2,0
		336	11,1	0,49	650	70	78	178	199	1,9

^a : 1ère colonne : base 100 = correspond au chargement plus faible de chaque niveau de fumure azotée ; 2ème colonne ou colonne unique : base 100 = correspond au chargement plus faible du niveau plus bas de fumure azotée ; Va. : Vaches ; Ve. : Veaux ; TB : Trèfle Blanc ; RGA : Ray-grass Anglais ; FDP : Fétuque des prés ; H : Hereford ; F : Frisian ; L : Limousin ; hh : hauteur d'herbe ; † : Quantité de matière organique d'herbe par hectare ;

* : En considérant GQM = poids vif final – poids vif initial moyenne / 150 jours ; # : En considérant le poids vif initial 490 kg et durée du pâturage = 244 j ; † : Unité : Bovine de 450 kg avec un GQM de 500 g/j sur une prairie

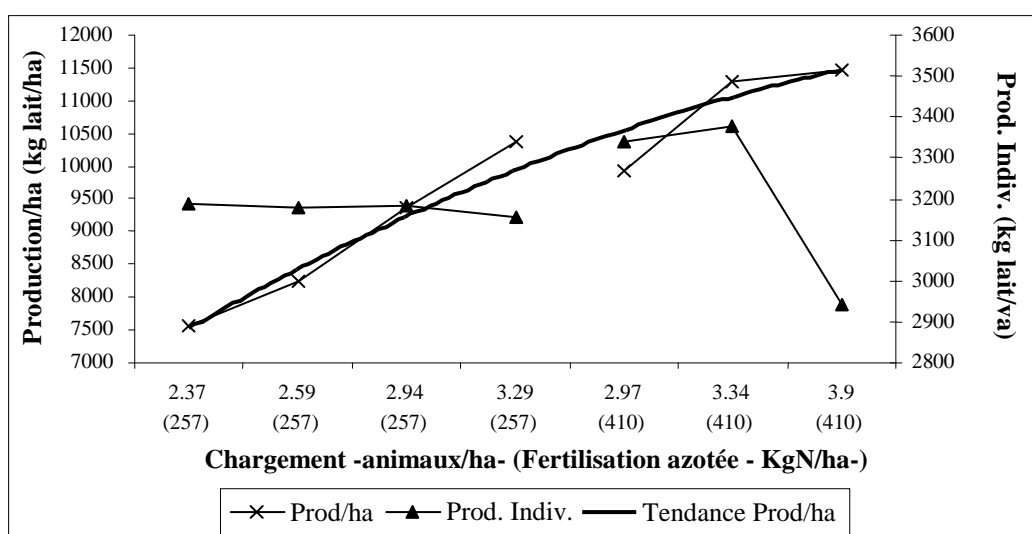
A partir des résultats d'essais testant à la fois le chargement et la fumure azotée (tableau 13), on peut calculer que le gain de poids moyen a été de 680 kg PV/ha avec une fertilisation azotée moyenne de 210 kg N/ha et un chargement de 5,2 têtes/ha (soit un gain de 130 kg PV/tête). Ces résultats peuvent être comparés avec ceux obtenus en Belgique par Andries *et al.* (1973) qui ont rapporté des gains de PV de 638 kg/ha avec un chargement de 6 têtes/ha et une application de 200 kg N/ha. Avec cette dose de fumure, les gains journaliers ont été supérieurs à ceux obtenus avec des fertilisations de 300 kg N/ha et un chargement de 7,3 têtes/ha.

En considérant uniquement les protocoles sans application de fertilisation azotée, les gains de poids moyens par hectare ont été de 625 kg PV avec un chargement moyen de 4,7 têtes/ha. Ces valeurs peuvent être comparés aux résultats de Alder *et al.* (1967) soit 538 kg PV/ha obtenus avec un chargement de 4,15 têtes/ha dans des prairies mixtes (trèfle blanc/raygrass) sans application de fertilisation azotée.

5.3.-Chargement, fertilisation et production laitière

Comme pour la production de viande, l'accroissement de la fertilisation entraîne une augmentation du chargement potentiel de la prairie, grâce à son effet positif sur la croissance de l'herbe. La figure 23 présente l'évolution moyenne des performances animales (trois années d'essai) cités dans la revue bibliographique de Gately *et al.* (1984).

Figure 23 : Evolution de la production laitière individuelle et à l'hectare en fonction de différents niveaux de fumure azotée et du chargement, calculées à partir de plusieurs essais de bibliographie



(Mc Feely, 1975, cité par Gately *et al.*, 1984)

La production de lait à l'hectare augmente de manière quadratique grâce à l'augmentation de la production d'herbe permise par la fumure azotée et valorisée par une augmentation du chargement (Barthram *et al.*, 1992). Cependant, avec des chargements élevés, la réponse en terme de production à l'hectare devient de plus en plus faible. La production individuelle diminue lorsque les niveaux de fumure azotée et de chargement augmentent. Cette chute est d'autant plus importante que les niveaux de fumure azotée sont élevés.

5.3.1.-Définition des niveaux optimaux de chargement et de fertilisation en la production laitière

Comme pour la production de viande, les niveaux de chargement et d'engrais azoté optimaux font référence au chargement et à la dose de fertilisation azotée qui permettent d'obtenir les productions individuelles et par hectare les plus élevées.

Les figures 24 et 25 donnent l'évolution des productions individuelles et par hectare en fonction des niveaux de chargement et de fumure azotée, selon les équations calculées à partir des essais présentés au tableau 14.

Figure 24 : Production laitière individuelle en fonction du chargement et du niveau de fumure azotée, calculées à partir de plusieurs essais de la bibliographie
selon le modèle : $y = -0,00006 N^2 + 0,0506 N - 2,20 C + 18,62$; où N = Fumure azotée en kg N/ha/an et C = Chargement en vaches/ha

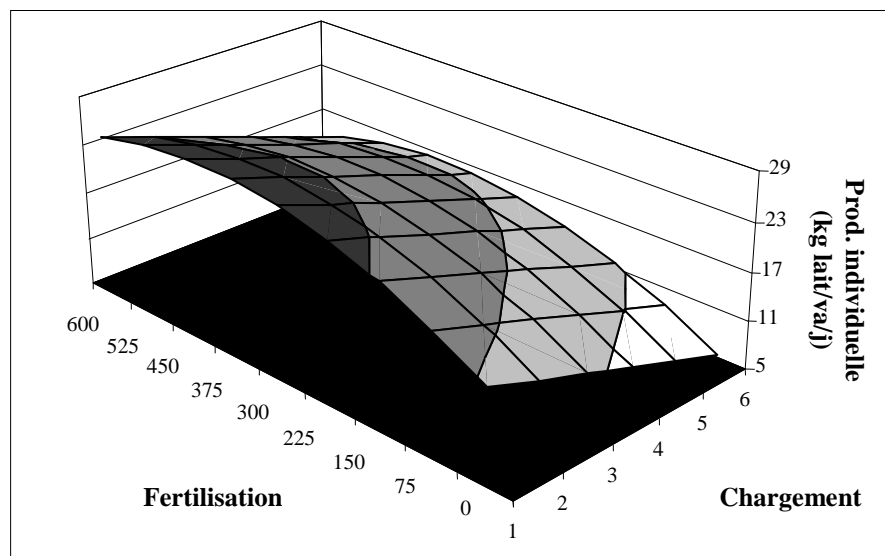
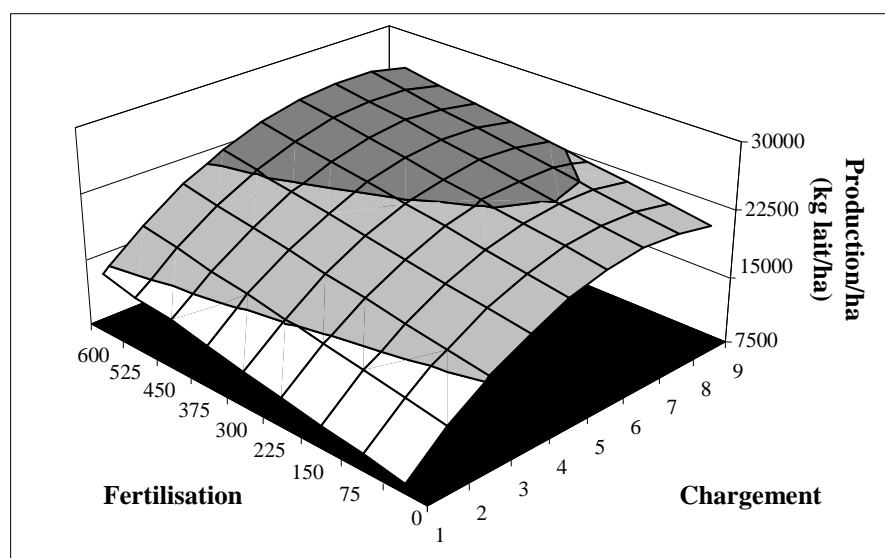


Figure 25 : Production laitière à l'hectare en fonction du chargement et du niveau de fumure azotée, calculées à partir de plusieurs essais de la bibliographie.
selon le modèle : $y = -320,47 C^2 + 4612 C + 9,49 N + 4424,8$; où N = Fumure azotée en kg N/ha/an et C = Chargement en vaches/ha



Les figures 26 et 27 montrent l'évolution de différents niveaux de production individuelle et par hectare de lait en fonction du chargement et de la fumure azotée.

Figure 26 : Performance individuelle (kg lait/vache/j) en fonction du chargement et du niveau de fumure azotée en considérant des taux de croissance équivalents, calculées à partir de plusieurs essais de la bibliographie.

selon le modèle suivant : $y = -0,00006 N^2 + 0,0506 N - 2,20 C + 18,62$; où N = Fumure azotée en kg N/ha/an et C = Chargement en vaches/ha

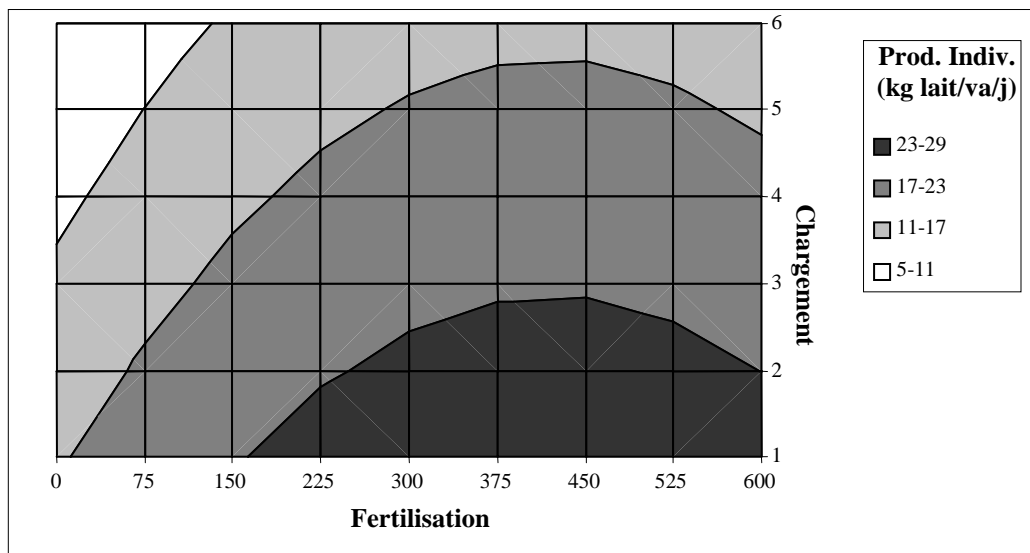
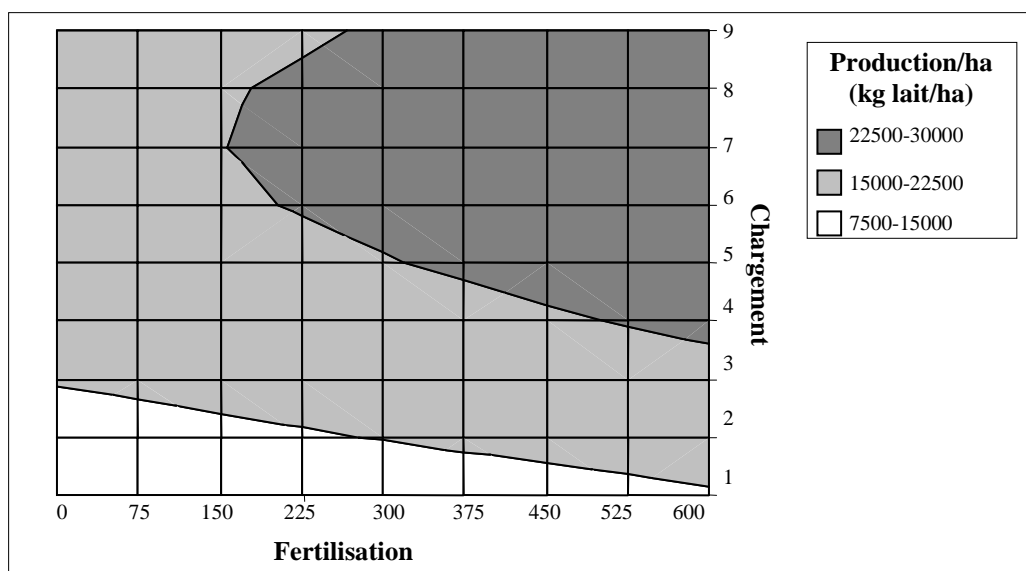


Figure 27 : Performance à l'hectare (kg lait/ha) en fonction du chargement et du niveau de fumure azotée en considérant des taux de croissance équivalents, calculées à partir de plusieurs essais de bibliographie.

selon le modèle : $y = -320,47 C^2 + 4612 C + 9,49 N + 4424,8$; où N = Fumure azotée en kg N/ha/an et C = Chargement en vaches/ha



Le tableau 14 présente l'influence du chargement et de la fumure azotée sur les performances des vaches laitières.

Tableau 14 : Influence du chargement et de la fumure azotée sur les performances d'animaux en production laitière

Références	Schéma expérimental	Fertilisation	Charge	Performance Zootech.		Taux prot.	Taux butyr.	kg lait/V/j		kg lait/ha		Lait/ha par kg N	Poids Vif (kg)
		(kg N/ha)	(VL/ha)	kg lait/VL/j	kg lait/ha	(g/kg)	(g/kg)	(base 100) ^a	(base 100) ^a				
Holmes, 1968	prairie permanente	0	2,2	14,8	5880			100	100				
		150	3,9	15,0	10500			101	179			30,8	
		300	4,6	15,1	12500			102	213			13,3	
		450	5,2	15,1	14100			101	240			10,7	
Gordon, 1973	Prairie permanente + Fétuque F - S ; 530 kgPV 154 j.	400	4,94	16,5	12527	32,8	37,6	100	100	100	100		545
		400	7,41	13,9	15815	32,6	38,5	84	84	126	126		498
		700	4,94	15,9	12099	32,7	37,1	100	97	100	97	1,2	545
		700	7,41	14,9	16977	32,1	37,7	94	90	140	136		483
Hood, 1976	Prairies raygrass F	250	2,5	14,9	11343	38,0	31,3	100	100				
		750	3,1	15,0	14176	38,0	31,9	101	125			5,7	
Coombe et Hood 1980	Prairies permanentes F	250	2,9	14,7	12910	30,9	37,6	100	100				
		750	3,3	15,3	15576	31,3	37,6	105	121			5,3	
King et Stockdale, 1980†	TB+RGA F ; 517 kgPV	0	4,4	9,9	13303	36,1	47,0	100	100				418
		0	6,6	7,8	15676	27,1	37,0	79	118				369
		0	8,6	5,9	15359	18,8	27,8	59	115				324
		224	4,4	9,9	13303	41,7	47,0	100	100				422
		224	6,6	7,8	15676	39,6	37,0	79	118				378
		224	8,6	5,9	15359	40,2	27,8	59	115				340
Gately et al., 1984	Synthèse bibliograph.	170	1,7	23,1	6600			100	100	100	100		
		170	2,0	21,9	7474			95	95	113	113		
		283	1,9	23,7	7579			100	103	100	115	11,7	
		283	2,4	22,7	9150			96	98	121	139		
		74	1,7	17,2	4820			100	100	100	100		
		74	2,1	15,7	5453			91	91	113	113		
		229	2,1	19,1	6795			100	111	100	141	11,8	
		229	2,5	17,0	7140			89	99	105	148		

Références	Schéma expérimental	Fertilisation		Charge		Performance Zootech.		Taux prot.	Taux butyr.	kg lait/V/j		kg lait/ha		Lait/ha par kg N	Poids Vif (kg)
		(kg N/ha)	(VL/ha)	kg lait/VL/j	kg lait/ha	(g/kg)	(g/kg)	(base 100) ^a	(base 100) ^a	(base 100) ^a	(base 100) ^a				
Gately <i>et al.</i> , 1984 Synthèse bibliograph.		51	2,0	12,5	4194			100	100	100	100				
		51	2,6	12,2	5356			98	98	128	128				
		102	2,5	12,7	5394					102	129				
		406	2,4	15,8	6358			100	127	100	152	12,1			
		406	3,1	12,9	6769			82	104	106	161	3,8			
		58	1,9	19	5929			100	100	100	100				
		58	2,7	17	7683			91	91	130	130				
		224	2,4	20	7949			100	104	100	134	11,9			
		224	3,3	17	9618			88	91	121	162				
		172	1,6	12,6	5018			100	100	100	100				
		172	1,7	12,6	5498			100	100	110	110				
		172	2,0	12,7	6275			101	101	125	125				
		172	2,2	12,6	6986			100	100	139	139				
		275	2,0	13,3	6616			100	105	100	132	13,1			
		275	2,2	13,5	7594			102	107	115	151				
		275	2,6	11,7	7685			88	93	116	153				
		272	2,5	28,1	11650			100	100	100	100				
		272	3,1	26,7	13864			95	95	119	119				
		495	2,8	27,6	12763			100	98	100	110	5,0			
		495	3,4	26,0	14984			94	93	117	129				
Delaby <i>et al.</i> , 1992	Prairie perman.+RGA 90 j ; 30 kgL	0	1,13	29,1	7886	29,7	40,9	100	100						
		80	1,41	29,4	9800	29,5	40,1	101	124	23,9					
		300	1,78	29,0	12568	29,1	39,8	100	159	12,6					
Fiorelli, 1992	Prairie perman. H - M ; 106 j ; 30 kgL	66	2,02	20,9	6334	31,5		100	100			2,8*			
		188	2,38	20,6	7327	31,7		99	116	8,1	2,6*				
Delaby <i>et al.</i> , 1998a	RGA + TB H - N ; 642 kgPV 33 kgL ; 190 j	0	1,7	26,7	8624	29,9	38,9	100	100			635			
		100	2,0	26,7	10146	29,8	38,6	100	118	15,2	632				
		320	2,5	26,7	12683	29,4	38,3	100	147	11,5	627				
Delaby <i>et al.</i> , 1998a	Synthèse bibliograph.	0	1,30	10,3	2272			100	100						
		100	1,90	10,0	3076			97	135	8,0					
		0	1,60	9,9	2673			100	100						
		100	2,50	8,9	3698			90	138	10,3					

Références	Schéma expérimental	Fertilisation (kg N/ha)	Charge (VL/ha)	Performance Zootech. kg lait/VL/j	Zootech. kg lait/ha	Taux prot. (g/kg)	Taux butyr. (g/kg)	kg lait/V/j (base 100) ^a	kg lait/ha (base 100) ^a	Lait/ha par kg N
Delaby et al., 1998a	Synthèse bibliograph.	60	3,00	15,6	6326			100	100	
		180	4,00	15,6	8727			100	138	20,0
		50	2,00	10,0	4194			100	100	
		100	2,52	10,2	5394			102	129	24,0
		400	3,11	10,3	6769			103	161	7,4
		200	2,50	10,0	6410			100	100	
		400	3,50	10,2	9146			102	143	13,8
		200	2,00	10,3	5707			100	100	
		400	3,00	10,3	8461			100	148	13,7
		320	3,77	22,5	14859			100	100	
		520	4,47	22,7	17774			101	120	14,6
		66	2,00	20,9	6334			100	100	
		190	2,38	20,5	7327			98	116	8,0
		250	3,11	22,1	11705			100	100	
		400	3,60	23,1	14149			105	121	16,3
		550	4,00	22,7	15438			103	132	12,4
		700	4,05	22,9	15826			104	135	9,2
		250	3,80	21,8	14934			100	100	
		550	5,13	20,7	19161			95	128	14,1
		40	3,37	27,4	5180			100	100	
120	5,95	27,2	9060			99	175	48,5		
40	4,05	23,1	5244			100	100			
120	5,25	25,7	7555			111	144	28,9		
Delaby et al., 1998b	Prairie perman.+RGA 170 j ; 32 kgL	90	3,25	21,4	6600			100	100	
		180	4,25	21,3	8715			100	132	23,5
		100	2,7	23,1	11300	32	40,2	100	100	
		320	4,1	22,2	17250	32	40,2	96	153	27,0

^a : 1ère colonne : base 100 = correspond au chargement plus faible de chaque niveau de fumure azotée ; 2ème colonne ou colonne unique : base 100 = correspond au chargement plus faible du niveau plus bas de fumure azotée ; H : Holstein kgPV : Poids vif au début de l'essai (en kg) ; N : Normande ; kgL : Production laitière journalière au début de l'essai (en kg) ; M : Montbéliard ; F : Friesian S : ShortHorn ; RGA : Raygrass anglais TB : Trèfle blanc ; * : Note d'état corporel (échelle 1-5 points) ; † : Valeurs de production du lait, des matières grasses, de protéines et du poids vif par vache calculées à partir des formules données par les auteurs : Prod. Lait (kg/vache) = 4319,6 - 294,61 SR + 34,31 SR.an ; Prod. Mat. Graisses (kg/vache) = 204,47 - 13,9 SR + 1,58 SR.an ; Prod. Protéine (kg/vache) = 165,41 - 12,56 SR + 0,88 SR².N + 0,15 SR².an ; Poids vif au tarissement (kg/vache) = 517,23 - 22,46 SR + 0,21SR².N - 0,15 SR².an ; SR : chargement (vaches/ha) ; N : fertilisation azotée (0 kg N/ha ; 224 kg N/ha : 1) ; an : année d'essai (1 : première année ; -1 : deuxième année).

D'après les essais rapportés au tableau 14, la production laitière moyenne a été de 9 564 kg lait/ha avec une fertilisation azotée moyenne de 235 kg N/ha et un chargement de 3,2 vaches/ha (soit une production individuelle de 2966 kg/vache). Ces résultats peuvent être comparés à la synthèse d'essais irlandais de Gately *et al.* (1984) où la production moyenne est de 9 618 kg lait/ha pour des chargements de 3,3 têtes/ha et une application de 224 kg N/ha.

En considérant uniquement les protocoles sans application de fertilisation azotée, les productions moyennes par hectare ont été de 8959 kg avec un chargement moyen de 3,4 vaches/ha.

6. L'EXTENSIFICATION DE LA PRODUCTION ANIMALE ET SON IMPACT ENVIRONNEMENTAL

6.1.-Définition de l'extensification

Une production à caractère extensif ou intensif implique des notions caractérisant le degré d'utilisation de l'un ou des principaux facteurs de production, à savoir la terre, le capital et le travail (Menissier, 1990). Les systèmes extensifs concernent d'abord l'extensification du facteur terre et se caractérisent par le fait qu'on cherche à produire moins que le potentiel de production à l'hectare permis par les conditions du milieu, du lieu et du moment. On cherche à optimiser des systèmes en combinant les facteurs de telle sorte qu'ils permettent à la fois d'améliorer les revenus, d'assurer une bonne utilisation des territoires avec un minimum d'intrants, de protéger et d'améliorer l'environnement.

L'extensification peut être réalisée selon diverses formes (Grenet *et al.*, 1995) :

- la désintensification, qui est ciblée sur la réduction des intrants avec une conduite optimale de la prairie
- l'extensification qui concerne l'expansion des fermes sans l'augmentation du bétail
- l'extensification des surfaces non utilisées pour la production animale, en tenant compte des limites environnementales et écologiques sur une terre à potentiel limité.

Les productions d'herbivores, et en particulier de viande bovine et ovine, sont bien adaptées à l'utilisation de surfaces fourragères. La réduction du chargement est favorable à l'environnement grâce à la diminution des quantités d'engrais, des épandages d'engrais de ferme et des déjections animales sur de plus grandes surfaces (Micol *et al.*, 1997). Dans les systèmes extensifs, la place de la prairie dans les systèmes fourragers est prépondérante.

Le caractère extensif de la production permet avec la diminution des quantités d'engrais épandues, de bénéficier des atouts que représentent les associations graminées – légumineuses, notamment du trèfle blanc (Micol *et al.*, 1997). Selon O'Riordan (1996), le rôle du trèfle blanc pour la production animale doit être revu car l'Union Européenne pousse à une production extensive capable de réduire les impacts environnementaux. Une proportion en

trèfle -notamment en trèfle blanc- de 30% de la matière sèche produite par la prairie est fréquemment citée comme optimale pour une bonne croissance des animaux destinés à la production de viande (Alder *et al.*, 1967 ; Simpson et Stobbs, 1981 ; Frame et Boyd, 1987 ; Wilkins *et al.*, 1987), ainsi que pour l'élevage des ovins (Orr *et al.*, 1990 ; Laws, 1993) et des vaches laitières (Harris et Clark ; 1996). Cependant, dans certains cas, une proportion de trèfle blanc supérieure à 30% peut provoquer des problèmes de tympanisme chez les bovins (Harris *et al.*, 1998).

Le but du pâturage, même dans des systèmes extensifs, doit être d'offrir aux animaux une herbe dont la qualité et la quantité correspondent aux besoins des animaux. Avec la réduction de la fertilisation azotée des prairies, à même niveau d'apport de concentré, les performances zootechniques peuvent être maintenues si les animaux ont la possibilité de satisfaire leurs besoins en énergie et en azote grâce à un agrandissement des surfaces. Selon Delaby et Peyraud (1998), il est possible de produire autant de lait par vache et par jour sur des prairies moins fertilisées à condition d'en diminuer le chargement.

Les paragraphes suivants décrivent les mesures prises dans le cadre de l'extensification, les attentes, les effets de l'extensification sur les rejets azotés, le bilan azoté, les caractéristiques phytotechniques, les performances animales et la qualité des produits animaux.

6.2.-Mesures relatives à l'extensification

L'élevage de bovins viandeux et laitiers produit normalement des excédents azotés qui finissent soit par être volatilisés, soit lessivés comme nitrates vers les eaux profondes et superficielles. Les émissions de gaz azoté peuvent augmenter l'effet de serre tandis que les nitrates qui s'accumulent dans les nappes phréatiques sont connus pour être nocifs pour la santé. La Communauté Européenne a établi une directive appelée directive « Nitrate » en 1991 (« EC Nitrate Directive, 91/676/EEC »). Cette directive vise à réduire la pollution des eaux induite par les nitrates à partir des sources agricoles et à prévenir toute nouvelle pollution de ce type. Elle rejoint pour certaines mesures les effets de la réforme de la PAC visant à réduire les productions agricoles. Dans le cadre de cette directive Européenne les

Etats Européens sont tenus entre autres de désigner des zones vulnérables et de rédiger un code de bonnes pratiques agricoles. Ce code inclut la fixation des périodes et des conditions et les modes d'épandage des fertilisants ainsi que les capacités et les normes de construction des cuves destinées au stockage des effluents d'élevage.

Le rôle toxique des nitrates pour la santé des mammifères est cependant mis en doute depuis peu. Par contre, l'augmentation des nitrates dans les eaux de lessivage constitue une source de pollution environnementale.

Depuis les années 80, des mesures qui réduisent les excès azotés sont encouragées. Le tableau 15 présente des mesures publiées par Jarvis et Aarts (2000) pour améliorer le flux et l'utilisation des nutriments, notamment de l'azote, dans les systèmes laitiers. Ces mesures sont générales, et parfois contradictoires, mais elles constituent une référence intéressante proposant plusieurs possibilités à adapter selon le mode d'exploitation. Ces mesures peuvent aussi être appliquées à des systèmes viandeux.

Tableau 15 : Mesures pour améliorer le flux d'azote dans les fermes laitières

Composantes du système	Mesure / activité :	Effet désiré :
Sol	Réduction de la fertilisation azotée	Augmentation de l'utilisation des nutriments du système; réduction des intrants (fertilisants)
	Réduction de la période de fertilisation	Augmentation de l'efficacité de l'utilisation des fertilisants
	Augmentation de la surface cultivée (maïs)	Réduction des besoins de fertilisant
	Culture de « captation » après le maïs	Réduction du lessivage de NO_3^- après la récolte
	Echantillonnage périodique du sol	Ajustement de l'application de fertilisant
Culture	Amélioration de l'efficacité d'application de la fumure : éviter les zones « vulnérables »	Fourniture plus efficace et réduction du lessivage de N et P vers les eaux
	Promotion du pâturage en rotation	Réduction des pertes du pâturage
	Réalisation des pratiques agricoles comme ressemer les prairies permanentes	Réduction du lessivage des nitrates pour augmenter la minéralisation
	Utilisation de géotypes plus « efficaces dans l'utilisation de nutriments »	Augmentation de la capture de nutriments de la ration
	Inclusion du maïs dans la ration ou un autre aliment avec un faible rapport C:N	Réduction du contenu en N de la ration → réduction de l'excrétion du N
Animal	Augmentation de la production de lait/vache	Réduction des besoins alimentaires / kg de lait quota : réduction de l'excrétion par unité de lait
	Réduction du taux de remplacement	Réduction des besoins alimentaires / kg de lait quota
	Elevage de jeunes animaux hors du système	Réduction des besoins alimentaires / kg de lait quota
	Réduction des périodes de pâturage (selon le cas)	Utilisation plus efficace de l'herbe fauchée
	Augmentation des périodes de pâturage (selon le cas)	Réduction des émissions globales de NH_3 du système
Déjections	Limitation de périodes journalières de pâturage	Réduction des surfaces des pissats, augmentation de la production de lisier et réduction de la fertilisation minérale
	Restriction de la saison de pâturage	Réduction des pertes au pâturage Réduction des surfaces des pissats, spécialement en automne, augmenter la quantité de lisier. Réduction des pertes du pâturage
Lisier/ fumier	Evacuation rapide pour le stockage Stockage clos Incorporation, injection, épandage en bandes	Réduction de la volatilisation du NH_3

(adapté de Jarvis et Aarts, 2000)

Dans le même objectif, l'augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'azote et la réduction des impacts environnementaux, Stevens (1999) cite certaines options des pratiques agricoles proposées par le « Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et des Denrées Alimentaires » (MAFF) anglais (tableau 16).

Tableau 16 : Options pour réduire les pertes d'azote vers les eaux et l'air

<p><u>Réduction du lessivage des nitrates</u> -Eviter la fertilisation azotée minérale entre le 15/09 et le 01/02 -Eviter la fertilisation azotée minérale ou organique quand le sol est gelé -Les applications de fumure organique ne doivent pas dépasser 250 kg N/ha/an -Ne pas appliquer de fumure organique entre le 1/9 et le 1/11</p> <p><u>Réductions des émissions d'ammonium :</u></p> <p>-Epannage du fumier : -Incorporer ou injecter immédiatement dans le sol -Tenir compte des conditions climatiques -Tenir compte des besoins des plantes -Contrôler le dosage des machines</p> <p>-Stockage du fumier : -Stocker en anaérobiose et éviter le compostage</p> <p>-Étables : -Enlever rapidement des urines de l'étable -Maintenir la température des déchets le plus basse possible -Ventiler des animaux mais pas le fumier -Maintenir les étables propres</p> <p>-Pâturage : -Fertiliser de manière à obtenir une teneur en protéines optimale</p> <p>-Alimentation animale : -Maintenir un niveau minimal d'azote dans la ration</p> <p><u>Réduction des émissions d'oxyde nitreux :</u></p> <p>-Fertilisation azotée : -Appliquer de faibles doses -Ne pas appliquer encas de fortes pluies -Utiliser du NH_4^+ et éviter le NO_3^- -Utiliser des inhibiteurs de la nitrification</p> <p>-Conduite des prairies : -Améliorer le drainage -Utiliser le trèfle pour remplacer la fertilisation minérale d'azote</p> <p>-Conduite des animaux : -Augmenter la production par animal -Réduire le pâturage -Réduire la concentration en azote dans l'urine -Utiliser le lisier de manière plus efficace</p>

(adapté de Stevens, 1999)

Les tableaux 15 et 16 montrent que des changements de certaines pratiques agricoles peuvent effectivement réduire l'impact environnemental de la production. Globalement d'un point de vue énergétique, des mesures visant à réduire le pâturage peuvent se solder par un effet négatif sur l'environnement car la récolte de l'herbe par des machines a un coût énergétique supérieur à une récolte effectuée par les animaux. De plus, ces pratiques ne sont pas

adaptables à tous les systèmes productifs. Elles peuvent engendrer des pertes de revenu qui doivent être compensées par des aides publiques. Dans cet esprit, la PAC a encouragé l'extensification de la production : les systèmes ne dépassant pas 1,4 UGB/ha bénéficiaient de primes à l'extensification (MCMA, 2000). Dans le cadre de la réforme à mi-parcours de l'Agenda 2000, une nouvelle notion a été introduite dans la distribution des aides : le découplage. Il ne s'agit plus d'aide compensatoire à la perte de revenu mais d'aides à l'exploitation subordonnée à l'existence d'une référence historique de soutiens préalablement perçus pendant une période de référence. En Belgique, la production de vaches allaitantes n'a pas été découplée et la production de viande reste liée au nombre d'animaux.

En Région Wallonne des zones vulnérables ont été établies afin d'atteindre l'objectif de réduction de la contamination des eaux suite à une utilisation excessive des engrais. La Commission européenne a requis des adaptations au premier Programme d'actions de Gestion Durable de l'Azote (PGDA) en Wallonie. Le suivi consiste en des analyses de sol sur 90 cm de profondeur, réalisées sur 3 parcelles sélectionnées parmi un échantillon aléatoire d'exploitations agricoles en zones vulnérables (Nitrawal, 2008).

En plus, du respect des normes d'épandage applicables partout en Région wallonne, il est également nécessaire de respecter, en zone vulnérable des normes 115/230, une norme par exploitation de 170 kilos d'azote organique en moyenne par ha. La capacité d'épandage de l'exploitation est la capacité d'épandage la plus faible entre celle calculée avec les normes d'épandage de 115 kilos en cultures et 230 kilos en prairies, et celle calculée sur base de 170 kilos par ha, en respectant le calendrier d'épandage (Nitrawal, 2008).

Pour l'azote minéral, désormais, chaque exploitation doit également garder les factures d'achat des engrais azotés minéraux pendant au moins 2 ans. Des normes pour l'azote total (organique + minéral) sont également fixées : la quantité d'azote total apportée sur une année, ne peut pas dépasser, en moyenne sur l'exploitation, 250 kg par ha de culture et 350 kg par ha de prairie. (Nitrawal, 2008).

Afin d'éviter la minéralisation d'azote suite aux mouvements de terre, les labours des prairies permanentes est désormais permis uniquement dans la période du 1er février au 31 mai. D'autre part, à la suite de ce labour tout épandage d'azote organique sera interdit pendant les

deux années suivantes tandis que l'épandage d'azote minéral n'est pas permis pendant la première année. En effet, en cas de labour de prairie, les épandages sont susceptibles d'encre accentuer le lessivage. Durant les deux années qui suivent le labour, il ne sera pas non plus autorisé d'implanter des légumineuses (sauf en cas de couvert prairial). Les prairies temporaires ne sont pas concernées par la mesure. (Nitrawal, 2008).

En plus, une charge au pâturage de 150 UGB.jours par hectare ne peut être dépassée dans les prairies entre le 15 septembre et le 31 décembre. Au terme de la Démarche Qualité, cette mesure n'a pas été respectée pour 31% des exploitations, en raison des arrières saisons très douces où les bêtes restent plus longtemps en prairie. (Nitrawal, 2008).

6.3.-Rejets azotés

La réduction de la fumure azotée est une bonne manière de réduire les risques des pertes d'azote par volatilisation ou lessivage à partir de l'azote urinaire sans affecter défavorablement la nutrition des vaches (Peyraud *et al.*, 1997, Menneer *et al.*, 2004). Les risques de lessivage d'azote, estimés pour un système extensif et intensif (100 et 320 kg N/ha et 2,8 et 4,1 vaches/ha respectivement), correspondent respectivement à 206 et 117 kg/ha, avec des variations entre années de ± 30 et ± 17 kg/ha en accord avec la fourniture d'azote par le sol issue de la minéralisation (Delaby *et al.*, 1998).

Chez l'animal, la réduction de la fumure azotée produit des changements métaboliques qui lui permettent de s'adapter à une situation de bas intrants azotés. Dans un essai de Peyraud *et al.* (1997) le métabolisme de l'azote dans le rumen a été largement affecté par le niveau de fumure azotée. Il en est résulté une meilleure utilisation de l'azote au niveau du rumen grâce à l'augmentation du recyclage de l'urée vers le rumen. Dans un essai avec distribution d'herbe coupée consommée *ad libitum* chez des vaches laitières, l'excrétion moyenne d'azote par l'urine était de 45 et de 26% de l'azote ingéré avec des traitements avec 250 et 0 kg N/ha respectivement (Peyraud *et al.*, 1997). Selon Delaby *et al.* (1998), l'azote restitué par les excréments peut être réduit de 50% chez des vaches laitières quand la fumure azotée est réduite (141 vs 287 kg d'azote restitué avec 100 et 320 kg N/ha et 2,8 et 4,1 vaches/ha respectivement). Par contre, l'azote fécal est faiblement affecté par le niveau de fumure azotée

appliqué (Peyraud et Astigarraga, 1998). Quand on exprime les émissions d'azote pour chaque animal par unité de surface, les effets de la réduction de la fumure azotée sont accentués en raison de la réduction du chargement avec les faibles fertilisations. Avec une fumure azotée de 100 et à 0 kg/ha par rapport à 320 kg N/ha les excréments urinaires et fécaux d'azote sont réduites de 22 et 30% respectivement, mais l'excrétion d'azote par hectare est réduite de 37 et 53% pour les fumures de 100 et 0 kg N/ha/an respectivement (Peyraud et Astigarraga, 1998).

6.4. Bilan azoté

Dans des systèmes extensifs, la pression d'azote organique est moindre, le nombre de journées de pâturage diminue, les pertes d'azote nitrique et le bilan azoté sont modifiés (Le Gall *et al.*, 1998). Les bilans azotés calculés dans les systèmes désintensifiés de production laitière (1,2 à 1,4 UGB/ha) montrent des soldes compris entre 30 et 80 kg N/ha avec probablement des risques limités de pertes d'azote nitrique, compte tenu de l'organisation de l'azote observée sous les prairies. Simon *et al.* (1992) ont rapporté une relation linéaire entre le chargement et les excédents du bilan azoté selon les régressions :

$y = 165x - 31$ (R = 0,67) pour les élevages plus intensifs des régions du Finistère et de Loire Atlantique et

$y = 146x - 69$ (R = 0,88) pour les élevages moins intensifs des Ardennes

où y : Excédent (kg N/ha/an) et x : Chargement (UGB/ha).

Selon Le Gall *et al.*, (1998), des bilans azotés calculés dans des systèmes laitiers « traditionnels » (fertilisation 165 kg N/ha et chargement 1,85 UGB/ha) montrent des excédents compris entre 110 et 160 kg N/ha, avec une efficacité d'utilisation d'azote (N sorti/N entré) de l'ordre de 40%. En étudiant 130 exploitations françaises, Simon *et al.* (1997) ont mis en évidence trois grands choix stratégiques de l'agriculteur : agriculture conventionnelle, autonome (ou durable) et biologique. Les résultats des différents systèmes sont présentés dans le tableau 17.

Tableau 17 : Bilan de l'azote à l'échelle d'exploitations laitières - comparaison des systèmes conventionnels, durables et biologiques

	Type d'exploitation		
	Conventionnelle	Durable ⁽¹⁾	Biologique
Engrais	160	64	2
Aliments	53	47	13
Fixation	4	45	53
Divers	3	13	6
Entrées	218	169	73
Lait	37	28	20
Viande	7	6	4
Cultures	8	9	4
Sorties	51	43	28
Solde bilan	+167	+128	+42
Sorties/Entrées (%)	28	27	54

(d'après Simon *et al.*, 1997)

Les excédents plus élevés sont observés dans les exploitations conventionnelles où le système fourrager repose sur l'ensilage de maïs et sur les prairies de ray-grass recevant une forte fertilisation azotée ; ce niveau élevé d'excédent s'explique par un net déséquilibre entre les entrées d'azote pour assurer les besoins alimentaires du troupeau et les sorties qui sont faibles. Dans les exploitations durables, la surface des prairies est plus importante (plus de 60% de la SAU) et les engrais minéraux sont remplacés en partie par la fixation symbiotique du trèfle blanc cultivé en association avec le ray-grass anglais. Dans les exploitations biologiques les excédents sont faibles. Elles se distinguent des autres types d'élevages pour une grande efficacité d'utilisation de l'azote, qui peut atteindre 80% (entrées N/sorties N) (Simon *et al.*, 1997).

Pour estimer les risques de pollution des eaux et l'efficacité d'utilisation d'azote dans les productions laitières au pâturage, Scholefield et Fisher (2000) ont modélisé les flux d'azote (NCYCLE) dans lesquelles les impacts environnementaux étaient maximisés ou minimisés (tableau 18).

⁽¹⁾ On entend par développement durable celui qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins.

Tableau 18 : Modélisation des flux d'azote pour quatre systèmes de prairies fertilisées pâturées pour des vaches laitières

Pool N – Flux (kg N /ha)	Scénario			
	1	2	3	4
Fertilisation N	340	105	340	290
Minéralisation N	230	179	91	94
Prélèvement N plantes	632	383	524	483
Consommation N animaux	392	273	325	299
N exporté dans le lait	90	55	75	69
N perdu par dénitrification	25	6	71	55
N perdu par volatilisation	38	21	31	28
N Lessivé	143	32	23	18
N dans eau de lessivage (mg/l)	43	11,3	14	11,3
Efficienc 1	0,16	0,19	0,17	0,18
Efficienc 2	0,44	0,93	0,60	0,68

(issu de Scholefield et Fisher, 2000)

Scénario 1 : conditions optimisées pour maximiser la production du lait avec 340 kg N/ha ;

Scénario 2 : les mêmes conditions que 1, mais avec une fumure azotée ajustée pour ne pas dépasser la limite de nitrates dans l'eau de lessivage établie par la CE (11,3 N –NO₃);

Scénario 3 : conditions optimisées pour le moindre lessivage avec 340 kg N/ha ;

Scénario 4 : conditions optimisées pour une production laitière maximale, mais sans dépassement de la limite de nitrates de la CE.

L'efficienc 1 correspond au rapport : N dans le lait / (Fertilisation N + Minéralisation).

L'efficienc 2 correspond au rapport : N dans le lait / (N perdu par dénitrification + volatilisation + lessivage).

Note : - Le modèle considère que l'azote exporté dans les produits ne varie pas avec les intrants d'azote, et est donc proportionnel à la production de lait/ha.

- Les auteurs considèrent une limite des nitrates de 11,3 mg NO₃/l, cependant cette valeur correspond aux niveaux maximaux de l'eau de boisson. La limite des nitrates établie par la CE de l'eau de lessivage est de 50 mg NO₃/l. (« EC Nitrate Directive, 91/676/EEC »).

D'après ces modèles, par rapport à une production maximale (scénario 1), il est possible de réduire les nitrates des eaux aux normes préconisées par la CEE soit en diminuant la fumure azotée (scénario 2) ou en optimisant les conditions au niveau de la minéralisation (scénario 4). Dans ces deux cas, la production d'azote dans le lait est diminuée. Si on ne diminue pas l'engrais azoté (scénario 3), on n'obtient pas une diminution suffisante de nitrates dans l'eau de lessivage mais la diminution des productions est moindre. Pour tous les scénarii, l'efficienc calculée comme le rapport de l'azote du lait par rapport à l'azote des entrées est inférieure à 20 %.

6.5.-Effet de l'extensification sur les caractéristiques de l'herbe

Les systèmes extensifs sont de grands utilisateurs du trèfle blanc. Dans les prairies mixtes, l'intérêt économique, environnemental, nutritionnel (Leconte, 1991 ; Caradus *et al.*, 1993 ; Harris et Clark, 1996 ; Vertès *et al.*, 1997) et de conservation du sol (Bodet, 1989) des associations des graminées et légumineuses sont alors évidents ; environ 200 kg d'azote peuvent être économisés. La production d'une prairie mixte ne recevant pas de fumure azotée peut atteindre 80% de celle d'une prairie de graminées avec 200 kg N/ha (Laws, 1993). Néanmoins, le trèfle reste sensible au piétinement, et il faut veiller à limiter le chargement instantané lorsque le sol est détrempé (Leconte, 1991). La production saisonnière, la variabilité de production entre années, la faible persistance et les problèmes de tympanisme peuvent aussi limiter l'usage du trèfle (O'Riordan, 1996).

L'augmentation du pourcentage de trèfle affecte directement la qualité du fourrage consommé. Elle peut équilibrer la diminution de la teneur en protéine brute du pâturage, consécutive à la réduction de l'engrais azoté, grâce à l'augmentation des teneurs en protéines vraies (Peyraud et Astigarraga, 1998). Mais, généralement, l'absence de fumure azotée entraîne une diminution de la valeur azotée de l'herbe. Le profil des acides aminés est cependant généralement peu affecté par le niveau de fumure azotée (Peyraud *et al.*, 1997). La réduction ou la suppression de la fumure azotée augmente le taux de matière sèche (Delaby *et al.*, 1992 ; Micol *et al.*, 1992 ; Peyraud *et al.*, 1997) ainsi que la teneur en hydrates de carbone solubles (Peyraud et Astigarraga, 1998). Par ailleurs, la croissance de la plante et sa teneur en matières azotées totales dépendent alors de la fourniture d'azote par le sol, elle-même très variable selon les conditions agro-climatiques du milieu (Pons *et al.*, 1989 ; Delaby et Peyraud, 1998). L'augmentation de la proportion de légumineuses, entraîne un accroissement de la teneur en calcium et en magnésium et une diminution de la teneur en sodium (Hemingway, 1999). L'effet de la fumure azotée sur la teneur en phosphore n'est pas très évident, cependant Hemingway (1999) a rapporté une corrélation directe entre la teneur en protéine brute et la teneur en phosphore. Si la réduction de la fumure azotée entraîne une réduction de la teneur en protéine brute, vraisemblablement la teneur en phosphore devrait être réduite.

6.6.-Effet de l'extensification sur les performances animales

L'effet général de la réduction de la fumure azotée et du chargement est la réduction des performances animales à l'hectare (kg poids vif/ha) avec un maintien ou un accroissement des performances individuelles (Micol *et al.*, 1997). De même, chez la vache laitière, Peyraud et Astigarraga (1998) ont rapporté des réductions des performances animales par hectare avec la réduction de la fumure azotée appliquée. Dans un essai de Delaby *et al.* (1998b), la désintensification de la surface pâturée a permis d'accroître les performances individuelles : les animaux disposaient d'une quantité supérieure d'herbe de qualité similaire. Selon Micol *et al.* (1992), la suppression de la fertilisation azotée entraîne une diminution de la valeur azotée de l'herbe et une augmentation de la teneur en matière sèche, mais la croissance des animaux n'est pas modifiée.

Chez les taurillons abattus à 24 et à 32 mois, avec une conduite intensive ou extensive (200 kg N/ha et 1,4 animaux/ha vs 0 kg N/ha et 0,9 animaux/ha), Grenet *et al.* (1997) ont observé pour un âge donné des résultats similaires quant aux caractéristiques à la finition, aux poids de carcasse et à leur composition. Les auteurs concluent qu'il est possible d'élever des taurillons ayant des qualités de viande intéressantes avec des systèmes plus extensifs tout en optimisant la production de l'herbe.

Les vaches allaitantes, en raison de leurs besoins réduits, sont des animaux cibles pour l'utilisation extensive des prairies (Grenet *et al.*, 1995). Cependant il convient de s'intéresser aux performances globales du couple mère-veau. La vache peut aussi s'adapter à une dégradation éventuelle de la quantité d'herbe par la réduction de sa production laitière vers la fin de la lactation. Pour éviter des chutes de la croissance des veaux, il est recommandé une complémentation en concentré, qui représente donc des entrées supplémentaires mais permet une croissance journalière des veaux proche de 1 kg/jour. En outre, il est possible de sevrer les veaux plus ou moins tôt (environ 5 mois) et ainsi d'éviter les éventuelles compétitions entre eux et les vaches (Micol *et al.*, 1997). Selon Grenet *et al.* (1995), les performances animales exprimées par le gain de poids des vaches et le gain quotidien moyen des veaux ont été semblables entre différents systèmes d'élevage, ainsi que le rendement exprimé en poids de carcasse (voir tableau 19). Drennan et Keane (1995) ont remarqué également des performances individuelles semblables entre différents traitements d'extensification.

Tableau 19 : Performance des vaches allaitantes en systèmes extensifs

	Désint.		Ext.		RGA- Trèfle	RGA Lisier	Int.	Désint.	Conv.	Ext.
	Désint.	Ext.	Désint.	Ext.						
Application d' azote (kg N/ha)	92	50	35	7		105	157	141	129	9
Chargement (vaches + veaux/ha)	1,34	1,08	1,21	0,9	1,85	1,3	2	1,64	1,1	1,8
GQM veaux (kg/j)	1,135	1,098	1,166	1,210	1,115	1,120	1,287	1,214	1,412	1,336
Gain poids vaches (kg)	59	54	65	60	68	64			58	63

Conv. : Elevage conventionnel ; Int. : Production intensive ; Désint. : Elevage désintensifié ; Ext. : Elevage extensif ; RGA-Trèfle : Prairie de ray-grass anglais / trèfle ; RGA lisier : Prairie de ray-grass anglais avec lisier.

(d'après Grenet *et al.*, 1995)

Le tableau 20 présente une synthèse des performances zootechniques dans des exploitations laitières françaises, relevées par Simon *et al.* (1997).

Tableau 20 : Principales caractéristiques des fermes laitières, pour trois choix stratégiques (conventionnel, durable ou biologique)

	Type d'exploitation		
	Conventionnel	Durable	Biologique
Fertilisation azotée (kgN/ha/an)	160	64	2
Chargement (UGB/ha)	1,70	1,44	1,24
Production laitière			
-litres/ha/an	6735	5600	3745
-litres/vache	5695	5790	4670

(adapté de Simon *et al.*, 1997)

Le type d'exploitation « biologique » se distingue des autres catégories par des niveaux de production peu élevés, qu'il soient ramenés à l'animal ou à la surface, et par une meilleure efficacité d'utilisation de l'azote, comme vu plus haut.

6.7- Effet de l'extensification et la qualité des produits

Dans le contexte des crises associées à l'alimentation des animaux (hormones, ESB et dioxine), il existe une pression de la part des consommateurs pour une alimentation saine. De plus, les productions de lait ou de viande issues d'animaux au pâturage sont associées normalement aux « produits du terroir » ou avec une production « artisanale » (Soufflet, 1997).

En production de viande par rapport au pâturage exclusif, la stabulation ou la complémentation des animaux au pâturage est une méthode pratique pour diminuer la période de finition des animaux (Hancock *et al.*, 1987 ; Allen *et al.*, 1996), cependant les animaux nourris à base de fourrage sont habituellement plus âgés que ceux engraisés à base de concentré (Camfield *et al.*, 1999). La nature de l'aliment (composition chimique, concentration énergétique...) ainsi que l'âge des animaux influencent les caractéristiques de la viande (Priolo *et al.*, 2000).

Pour une croissance optimale de l'animal, les nutriments essentiels doivent être disponibles. Ils sont d'abord utilisés pour la croissance des os, ensuite pour la croissance musculaire. Si les nutriments sont apportés de façon à dépasser les besoins pour l'accroissement des os et des muscles, l'excès est utilisé pour la formation de tissu gras. A l'opposé, si les besoins en nutriments ne sont pas satisfaits, le développement des différents tissus est compromis. Chez des animaux soumis au pâturage, malgré une bonne qualité d'herbe, le contenu en énergie est normalement trop faible pour former un dépôt de tissu gras (Camfield *et al.*, 1999). Les carcasses des animaux soumis au pâturage ont une plus faible proportion de tissu gras et sont plus légères par rapport à celles des animaux nourris à base de concentré (Camfield *et al.*, 1999). Cette réduction de la teneur en graisse peut réduire la tendreté de la viande, le temps de congélation et entraîner une chute plus lente du pH (Berry *et al.*, 1988).

En ce qui concerne la saveur, d'après Berry *et al.*, (1988), la viande des animaux nourris avec des fourrages par rapport à ceux recevant du maïs a une saveur moins désirable, un goût plus intense ou une saveur non viandeuse. Ces appréciations peuvent être associées à un changement dans la proportion des acides gras (augmentation des acides gras poly insaturés de chaîne longue. Selon Keane et Allen (1999), la viande des animaux produits dans un système moins intensif sont plus appréciées par les consommateurs. En plus, l'acide linoléique (C18:3) est fortement et positivement corrélé avec la saveur pastorale des viandes (Priolo *et al.*, 2000).

Les figures 28 et 29 montrent la tendance rapportée par Priolo *et al.* (2000) qui ont réalisé une synthèse de plusieurs publications concernant la luminosité (L%) de la viande et la clarté

visuelle évaluée de façon subjective, ainsi que la concentration en C18:3 dans la viande bovine.

Figure 28 : Variation (%) de la luminosité ou de la clarté (visuelle) de la viande bovine (m. longissimus) produite au pâturage ou avec des concentrés

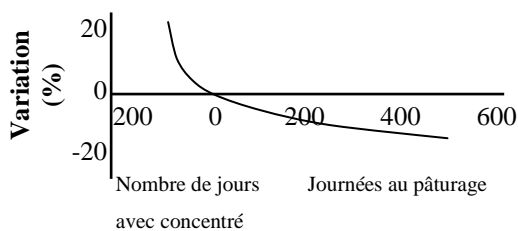
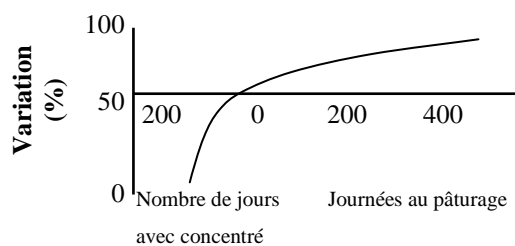


Figure 29 : Variation (%) de la proportion de C18:3 intramusculaire de la viande bovine produite au pâturage ou au concentré



(adapté de Priolo *et al.*, 2000).

La luminosité de la viande issue d'animaux au pâturage est réduite que ce soit par méthode de laboratoire ou par mesures subjectives : la viande est donc plus foncée. L'effet du système de production sur la couleur et la saveur des viandes bovines semble significatif, cependant les facteurs explicatifs de ce phénomène restent encore mal connus (Priolo *et al.*, 2000). Le pâturage a entraîné une augmentation de la concentration en C 18 :3 dans la viande. Selon une synthèse de Wood et Enser (1997) des taurillons finis au pâturage ont présenté des proportions plus hautes d'acide α -linoléique (C 18:3n-3) et d'autres acides gras n-3 par rapport aux taurillons finis avec du concentré, ces derniers ont eu des proportions plus hautes d'acide linoléique (C 18:2n-6) et autres acides gras n-6. Cette différence est due au fait que l'herbe contient une proportion élevée d'acide linoléique par rapport aux autres aliments (Varela *et al.*, 2004). A l'inverse, les céréales et les graines oléagineuses utilisées dans les concentrés contiennent surtout de l'acide linoléique. Une partie des acides gras n'est pas hydrogénée au niveau du rumen et déposée dans les tissus animaux. La viande des animaux au pâturage a une proportion plus favorable de n-6/n-3 du point de vue de la santé humaine. Les auteurs citent que le Département de Santé Anglais recommande une consommation de 35% de l'énergie en acides gras avec 10% provenant des acides gras saturés. En plus, il est indiqué de réduire la consommation des acides gras à courte chaîne et moyenne et aussi de limiter la consommation des acides gras n-6 par rapport aux n-3.

Tableau 20 : Composition en acides gras dans différents tissus des animaux soumis à une alimentation à base de concentré ou avec une alimentation au pâturage

Tissu (Référence)	MLD (a)		MST (b)		TA (b)		MLD (c)		MLD-GIM (d)			MLD (e)		
	F-C	C	F	C	F	C	Pât	C	Pât 1	Pât 2	C	Pât	C 54 j	C 82 j
Myristique 14:0 (%)	1,1	1,6	3,2	3,2	3,9	3,3			2,4	2,5	3,0	0,1	0,3	0,1
Palmitique 16:0 (%)	12,8	15,3	27,5	26,6	27,1	26,0	24,4	23,6	26,5	27,8	28,3	30,4	30,0	30,7
Palmitoléique 16:1 (%)	1,5	2,2	3,5	4,0	3,8	3,3			2,1	1,5	2,2	2,9	2,3	2,2
Stéarique 18:0 (%)	7,0	7,4	14,4	10,6	15,6	12,5	15,9	13,5	20,5	20,0	21,9	7,8	7,9	8,2
Oléique 18:1 (%)	17,4	25,1	40,8	45,4	38,5	44,5	35,3	30,0	39,2	36,8	36,7	41,2	39,0	35,9
Linoléique 18:2 (%)	2,1	2,3	1,2	1,6	0,6	1,8	2,3	7,8	6,4	9,2	8,6	15,2	19,5	22,1
Linoléique 18:3 (%)	0,6	0,2	0,6	0,2	0,5	0,1	1,2	0,5	1,4	1,7	1,2	2,4	1,0	0,7
Arachidonique 20:0 (%)				0,2		0,2								
Saturés (%)	49,2	44,9	50,1	44,8	52,1	46,5	51,0	49,1	50,9	50,8	51,3	38,3	38,3	39,1
Mono Insaturés (%)	44,5	50,5	42,9	50,0	40,1	47,6	44,7	39,8	41,3	38,4	39,0	44,1	41,3	38,1
Poly Insaturés (%)	6,4	4,6	7,0	5,2	7,8	5,9	4,3	11,0	7,9	10,8	9,8	17,6	20,4	22,8

C : concentré ; F : fourrage ; Pât : pâturage ; Pât 1 : pâturage chargement normal, Pât 2 : chargement élevé.

(a) Mandell *et al.* (1998) MLD : Muscle Longissimus Dorsi

(b) Marmer *et al.* (1984) MST : Muscle Semitendineux; TA : Tissu Adipeux

(c) Wood *et al.* (1999) MLD : Muscle Longissimus Dorsi

(d) Hornick *et al.* (1998) MLD-GIM : Muscle Longissimus Dorsi - Graisse Intra et Intermusculaire

(e) Larick et Turner (1990) MLD : Muscle Longissimus Dorsi

Des observations similaires dans la viande des animaux qui ont pâture par rapport aux animaux finis en stabulation ont été rapportées dans plusieurs travaux (tableau 20). La proportion des différents acides gras varie selon les tissus ; les tissus plus gras présentent les pourcentages les plus élevés d'acides gras saturés (Hornick *et al.*, 1998 ; Marmer *et al.*, 1984).

En ce qui concerne la production laitière, l'effet de la désintensification de la production par une réduction de l'apport d'engrais azoté peut affecter principalement la production fromagère. La diminution de la fertilisation minérale réduit normalement la teneur en urée dans le plasma et le lait, celle-ci peut affecter négativement la coagulation du lait (Hood, 1976). Martin *et al.* (1997) en augmentant la concentration d'urée du lait, soit par addition directe d'urée, soit par une augmentation du teneur en protéine de la ration (addition de tourteau de soja), ont observé une acidification plus lente au cours des premières heures

suivant le moulage du fromage. Les caractéristiques sensorielles des fromages (fromages moins fermes, moins pâteux, moins plâtreux, plus crémeux, moins acides et plus doux) peuvent être aussi affectées par l'augmentation de la teneur en urée du lait (Martin *et al.*, 1997). L'urée représente une partie importante de l'azote non protéique du lait (30-35%) et est positivement corrélée avec la stabilité à la chaleur du lait. La coagulation du lait dans le processus de stérilisation peut être alors réduite (Mottar et De Vilder, 1979). De ce point de vue, la réduction de la fertilisation azotée peut être défavorable, mais il faut considérer la réduction de l'urée du lait comme une conséquence et pas un but de l'extensification de la production.

II. DEUXIEME PARTIE : Expérimentation.

7. JUSTIFICATION DE LA RECHERCHE ET SOMMAIRE.

L'utilisation du pâturage pour les principales spéculations (vaches allaitantes, vaches laitières et taurillons) reste un moyen intéressant pour réduire les coûts de production. Cette utilisation des prairies implique des systèmes plus ou moins intensifs du point de vue du chargement et des intrants représentés par la fertilisation minérale et la complémentation. En Belgique, des applications de fertilisation azotée sont régulièrement effectuées au pâturage, les quantités apportées variant de 20 à 40 kg d'azote par ha et par application. L'excès de fertilisation minérale est une des causes majeures du risque de pollution des eaux. Le chargement élevé augmente les rejets azotés et émissions gazeuses par hectare. Par contre, la réduction de la fertilisation azotée permet de diminuer l'impact négatif des productions animales. Parallèlement, plusieurs travaux ont démontré que l'extensification de la production peut affecter certains paramètres de qualité de la viande tels que la luminosité, la couleur de la viande et la composition en acides gras.

Dans ce cadre, une série de travaux expérimentaux ont été menés à la Station Expérimentale du Sart Tilman à Liège afin d'étudier les impacts des systèmes utilisant moins d'engrais azotés. Les essais ont été menés avec des vaches allaitantes, des taurillons et des vaches laitières. Les mesures réalisées concernent l'ensemble de l'axe sol-plante-animal. Elles comprennent les reliquats en nitrates dans le sol, la composition chimique de l'herbe ainsi que d'autres paramètres phytotechniques (hauteur de l'herbe, pourcentage de refus et composition botanique de la prairie) et les performances zootechniques (gain de poids et production laitière individuels et à l'hectare, rendements d'abattage, caractéristiques de la viande...). La détermination des teneurs en urée dans le plasma et le lait a servi d'indicateur du statut azoté des animaux. Avec ces mesures directes, on peut aussi calculer le bilan azoté et l'efficacité d'utilisation de l'azote du système.

Les résultats de ces différents essais sont présentés sous forme d'articles repris dans la deuxième partie de cette thèse. Les titres de ces articles sont :

Etude 1. Désintensification raisonnée de l'exploitation du pâturage par la vache allaitante Blanc Bleu Belge. Fourrages (2001) 165, 61-71, France.

Etude 2. Incidences phytotechniques et zootechniques d'une réduction ou d'une suppression de la fertilisation azotée sur des prairies pâturées par des vaches laitières. Anim. Res. 50 (2001) 299–314, INRA, France.

Etude 3. Less intensified grazing management with growing fattening bulls. Anim. Res. 55 (2006) 105–120, INRA, France.

Etude 4. Effects of different levels of nitrogen fertilization on performance, nitrogen balance and nitrate contents in soil of pastures grazed by dairy cows and bulls. Soumis pour publication à Grass and Forage Science.

Des communications courtes relatives à ces essais, ont été présentées lors de différents congrès :

DIEGUEZ F, DUFRASNE I, CREMER V, MICHIELS D, ISTASSE L.

Reduction of nitrogen fertilizer in in pastures grazed by suckling cows of the Belgian Blue breed. European Grassland Federation, Congress 22-25 May 2000. Aalborg-Denmark.

DIEGUEZ F., DUFRASNE I., DE BEHR V., MACHIELS D., ISTASSE L.

Effects of a reduction of nitrogen fertiliser on performance and plasma urea in grazing Belgian Blue suckling cows. 51ème Réunion Annuelle de la Fédération Européenne de Zootechnie, 21-24 august 2000, La Haye, Pays Bas, 245.

DIEGUEZ, F. DUFRASNE, I., ISTASSE L.

Réduction des apports d'engrais azotés sur des prairies pâturées par des vaches traites : résultats de six années d'essai. 7ème. Rencontres Recherche Ruminants, 6-7 décembre 2000, Paris, France, 129.

DIEGUEZ, F. HORNICK, J-L. ISTASSE, L. DUFRASNE I.

Rejets des animaux et bilan azoté dans des prairies conduites avec différents niveaux de fertilisation azotée. 8èmes Rencontres Recherche Ruminants, 5-6 décembre re 2001, Paris, France, 225.

DIEGUEZ CAMERONI, F., J-F. CABARAUX, V. DE BEHR, J-L. HORNICK, L. ISTASSE, I. DUFRASNE. Soil nitrates in pastures rotationally grazed by cows: relationship between urea in milk and blood plasma. In: 19th European Grassland Federation, La Rochelle, France, 27-30 mai 2002, 678-679.

ETUDE 1. Désintensification raisonnée de l'exploitation du pâturage par la vache allaitante Blanc Bleu Belge.

AUTEURS : Dieguez F.*, Hornick J.L.*, Istasse L. *, Dufrasne I.**

*Service de Nutrition. Faculté de Médecine Vétérinaire. Université de Liège. Belgique.

**Station Expérimentale. Faculté de Médecine Vétérinaire. Université de Liège. Belgique.

MOTS CLÉS : pâturage, vache allaitante, fumure azotée, chargement.

CORRESPONDANCE :

Station Expérimentale

Chemin de la Ferme, 6. B 39

4000 Liège

Belgique

Téléphone : 04/ 366 2373

Fax : 04/ 366 2370

Courrier électronique : e311101@student.ulg.ac.be

MISE EN SITUATION.

Les prairies fournissent le principal aliment des vaches allaitantes. Leur utilisation se doit d'être optimale afin d'obtenir des performances annuelles intéressantes à un faible coût tout en tenant compte des impacts environnementaux.

RÉSUMÉ.

Un essai a été mené au pâturage avec des vaches allaitantes de race Blanc Bleu Belge et leurs veaux. Trois niveaux d'intensification ont été testés dans une prairie permanente dans la région liégeoise (Haute Belgique) pendant 6 années consécutives. Le système de pâturage continu a été employé. Les trois niveaux d'intensification ont été un niveau élevé (groupe 3/3 N : 202 kg N/hectare ; 4,1 vaches et 3,7 veaux par hectare), un niveau d'intensification modéré, avec une réduction de 33% de la fertilisation azotée, mais avec le même chargement (groupe 2/3 N : 135 kg N/hectare ; 4,1 vaches et 3,7 veaux par hectare) et un niveau d'intensification faible, sans fertilisation azotée appliquée et avec un chargement réduit (groupe 0 N ; 2,9 vaches et 2,6 veaux par hectare). Les traitements n'ont pas affecté les mesures phytotechniques (hauteur de l'herbe, pourcentage de refus) ni le contenu en matière azotée totale et en fibres brutes. La composition de l'herbe en potassium, phosphore et magnésium n'a pas présenté de différences significatives entre les lots. Les teneurs en sodium des lots 0 N et 2/3 N ont été inférieures à celles du lot 3/3 N (0,9 et 1,0 vs 1,4 g/kg MS respectivement ; $P < 0,05$). Le pourcentage en calcium dans les lots 2/3 et 3/3 N a été inférieur au lot 0 N (5,9 et 5,8 vs 7,1 g/kg MS respectivement ; $P < 0,05$). Le gain moyen quotidien des vaches allaitantes du lot 0 N a été supérieur aux lots 2/3 et 3/3 N (0,357 vs 0,155 et 0,046 kg/j respectivement ; $P < 0,05$). Les gains quotidiens moyens des veaux n'ont pas différencié entre les lots et ont été de l'ordre de 1,1 kg/j. Les teneurs en urée plasmatique ont été significativement plus faibles dans le lot 0 N par rapport aux lots 2/3 N et 3/3 N (241 vs 279 et 302 g N/l respectivement ; $P < 0,05$). Le bilan économique a été plus favorable pour le lot 0 N, avec des résultats plus intéressants lorsque on considère la possibilité de percevoir des primes à l'extensification.

SUMMARY.

Desintensification of grazing management for the Belgian Blue suckling cow.

A trial was carried out with suckling Belgian Blue double-muscled cows followed by their calves. Three levels of intensification were compared in a permanent pasture localised in the Liège region (South East of Belgium) over 6 consecutive years. The set stocking system was used for grazing. The three levels of intensification were as follow: an intensive system with 202 kg N/hectare along with 4.1 cows and 3.7 calves/hectare –3/3 N group–, a system with moderate intensification in which nitrogen fertilizer was reduced by 33% but with the same stocking rate –2/3 N group– with 135 kg N/hectare along with 4.1 cows and 3.7 calves/hectare and a system with low intensification associated with a reduced stocking rate and no nitrogen fertilizer –0 N group– with 2.9 cows and 2.6 calves/hectare. There were no effects of the treatments on grass characteristics –e.g. grass height, percentage of refusals, nitrogen content, fiber content. The contents in K, P and Mg were not affected either. By contrast, the Na contents in groups 0 N and 2/3 N were lower than that in the 3/3 N group (0.9 and 1.0 vs. 1.4 g/kg DM respectively; $P<0.05$). The concentration in Ca in groups 2/3 and 3/3 N was lower than in group 0 N (5.9 and 5.8 vs. 7.1 g/kg DM respectively; $P<0.05$). The average daily gain of the suckling cows of group 0 N was higher than in groups 2/3 and 3/3 N (0.357 vs. 0.155 and 0.046 kg/d respectively; $P<0.05$). The average daily gain of the calves did not differ significantly between groups and was close to 1.1 kg/d. The concentration of plasma urea was significantly lower in the group 0 N as compared to 2/3 N and 3/3 N groups (241 vs 279 et 302 g N/l respectively; $P<0.05$). The economic balance was higher in the 0 N group. That results become plus interesting when the primes to extensification were considered.

1- INTRODUCTION.

L'utilisation du pâturage par les vaches allaitantes permet de produire six mois par an de la viande en profitant de l'herbe qui est un aliment peu coûteux. La race Blanc Bleu Belge s'est spécialisée dans la production de viande grâce à une sélection intensive. Il y a quelques années, le niveau d'intensification des surfaces pâturées était élevé en vue d'obtenir une haute productivité à l'hectare. Des applications de fertilisation azotée sont régulièrement effectuées au pâturage, les quantités apportées variant de 20 à 40 kg d'azote par ha et par application. En Belgique les surfaces agricoles représentent un facteur limitant dans de nombreuses régions et l'exploitation des prairies reste intensive. Dans le Sud du pays, le chargement est moins élevé (2 UGB/ha, INS, 1999).

Dans le cadre de la réforme de la politique agricole et depuis l'instauration des primes « vaches allaitantes » liés à la surface, le nombre de vaches allaitantes a diminué. De plus, les prix de vente des animaux ont connu des diminutions suite à la crise de la vache folle et à la diminution des prix à l'intervention. La diminution des coûts est donc une priorité. La diminution du niveau d'intensification et du recours aux engrais azotés est également à l'ordre du jour. Des politiques plus respectueuses de l'environnement sont encouragées (Micol *et al.*, 1997).

Le niveau d'engrais azoté a des effets importants sur la composition de l'herbe, sur les performances des animaux et sur leurs rejets azotés. Une diminution drastique des engrais azotés allant jusqu'à l'absence d'apport peut être envisagée. Le chargement doit alors être adapté car il est important d'obtenir des performances individuelles élevées surtout chez les veaux qui représentent la production principale de la spéculation vache allaitante.

L'objectif de cet essai est d'étudier l'impact d'une réduction du niveau de fertilisation azotée sans réduction du chargement d'une part et d'une réduction du chargement avec un apport d'engrais azoté nul d'autre part sur les performances des vaches allaitantes et de leurs veaux. Les effets sur la composition floristique, les hauteurs d'herbe, la composition chimique et le pourcentage de refus ont également été déterminés.

2- MATÉRIEL ET MÉTHODES.

2.1- Animaux et conduite du pâturage.

L'essai a eu lieu dans une prairie permanente située dans la région liégeoise à une altitude de 150 m. Chaque année, les périodes expérimentales ont commencé à la fin du mois d'avril et se sont terminées au cours du mois d'octobre, après en moyenne 168 jours de pâturage effectif pour les vaches et 121 jours pour les veaux. L'essai a été répété pendant six années consécutives. Le système de pâturage continu a été employé et des vaches allaitantes de race Blanc Bleu Belge et leurs veaux ont été utilisés. Chaque année 13 vaches et leurs veaux ont été repartis en 3 lots homogènes sur base de leur âge et de leur poids vif. Un lot composé de 4 vaches a été soumis à un niveau élevé de chargement et de fumure azotée (3/3 N). Le second lot composé de 4 vaches a pâture dans un système avec un niveau de chargement élevé et une fumure réduite de 33% par rapport au premier lot (2/3 N). Le dernier lot constitué par 5 vaches disposait d'une prairie exploitée avec un chargement réduit et l'absence de fertilisation azotée minérale (0 N) (tableau 1). Au total pour les six années d'essai, 24 animaux ont été utilisés dans les lots 3/3 N et 2/3 N et 30 dans le lot 0 N. La surface disponible par lot était de 1,08 ha pour les lots 3/3 N et 2/3 N et de 1,91 ha pour le lot 0 N. Les vaches pesaient en moyenne 577 kg au début de l'essai. Leurs veaux étaient âgés de 85 jours et pesaient 112 kg,

La fumure azotée a été apportée sous forme de nitrate d'ammonium à 27% N en plusieurs fractions aux mêmes dates dans les lots recevant de la fertilisation azotée (3/3 N et 2/3 N). Lors de chaque application, 40 kg N était appliquée sur le lot 3/3 N et 27 kg N sur le lot 2/3 N. Les traitements ont été répétés chaque année dans les mêmes parcelles.

De l'ensilage de maïs a été apporté pendant certaines périodes au cours des première, troisième et sixième années suite à une disponibilité en herbe insuffisante. Les veaux ont reçu un complément dans une trémie inaccessible aux vaches. Il s'agissait d'un mélange de commerce comprenant principalement des céréales floconnées, du son, de la luzerne déshydratée et du tourteau de lin. La quantité d'aliments était distribuée de façon croissante pendant la saison de pâturage en fonction de l'appétit des veaux.

Des animaux ont été ajoutés en début de saison pendant la première et la dernière année afin de valoriser les excédents d'herbe. Un taureau a accompagné les lots. Les veaux ont été vermifugés à 3 reprises avec de l'Ivermectine ou de la Doramectine.

Avant le présent essai, la prairie avait été utilisée pour tester deux niveaux d'intensification soit modéré et élevé. Cet essai a duré 4 ans et a été décrit par Dufrasne *et al.* (1995a). Le lot 0 N a occupé l'emplacement du niveau d'intensification modéré tandis que le lot 3/3 N a été placé sur l'emplacement du lot intensif. La prairie réservée au lot 2/3 N occupait pour 40 % l'emplacement du lot modéré et pour 60 % l'emplacement du lot intensif.

2.2- Mesures phytotechniques.

La composition chimique de l'herbe a été déterminée à partir d'échantillons prélevés toutes les deux semaines aux ciseaux à une hauteur de 1 cm. On prélevait un échantillon qui représentait 10 à 15 poignées prises au hasard. Les hauteurs d'herbe ont été mesurées toutes les deux semaines à l'aide d'un herbomètre à plateau, constituée d'une feuille d'aluminium exerçant une pression de 2 kg/m² ; 100 mesures ont été effectuées par ha. Les pourcentages de refus ont été estimés toutes les deux semaines, en faisant le rapport entre le nombre de hauteurs mesurées dans des refus et le nombre de hauteurs mesurées dans des zones pâturées.

La composition de la flore a été estimée la première et la dernière année par une méthode adaptée de la méthode des fréquences (Andries, 1950). Ces mesures ont été effectuées par des personnes différentes et ne sont donc pas réellement comparables d'une année à l'autre.

2.3- Mesures zootechniques.

Les animaux ont été pesés tous les 28 jours. Les gains de poids vif des animaux présents dans les parcelles ont été pris en compte dans le calcul des gains par ha. Les consommations de complément ont été répertoriées tous les jours. Un échantillon de sang prélevé à la veine jugulaire a été effectué à chaque pesée. La teneur en urée plasmatique a été déterminée à

partir des plasmas conservés au congélateur par la méthode de la diacétylmonoxime et a servi d'indicateur des rejets azotés (Ciszuk et Gebregziabher, 1994).

2.4- Approche économique.

Les données obtenues ont permis l'établissement d'un bilan économique relatif aux lots étudiés pendant la période d'essai. Pour le calcul du prix de revient on a tenu compte des frais d'installation des clôtures et des abreuvoirs, de l'amortissement, du fermage, du coût des amendements, des aliments et de l'eau ainsi qu'une somme forfaitaire représentant les frais sanitaires et de surveillance de chaque couple mère - veau. Le bénéfice brut a été calculé en tenant compte la production de viande des vaches et des veaux. La valeur marchande des veaux a été estimée sur pied au début et à la fin de l'essai, la différence entre ces deux valeurs déterminant le bénéfice brut des veaux. Les gains de poids vif des vaches ont été comptés à 90 FB/kg pour les vaches. Le bénéfice net est calculé par différence entre le bénéfice brut et le prix de revient. Les primes octroyées dans le cadre de la réforme de la politique agricole commune ont été ajoutées au bénéfice net.

3- TRAITEMENT DES DONNÉES.

Les résultats ont été traités par analyse de la variance à 2 critères de classification à savoir l'année (dl = 5) et le traitement (dl = 2) et l'interaction de l'année et le traitement (dl = 10) selon la procédure « General Linear Model » du logiciel MINITAB (1989). Le poids initial des animaux a été considéré comme co-variable dans l'analyse des gains moyens quotidiens des vaches et des veaux. Les tableaux et les graphiques indiquent les moyennes annuelles et leur écart types.

4- RÉSULTATS ET DISCUSSION.

4.1- Conditions climatiques.

La pluviométrie et les températures moyennes ont été relevées pendant la saison de pâturage dans la station météorologique la plus proche. Au cours des deux premières années, le mois

de mai a été doux (+2°C par rapport à la moyenne des 31 dernières années) et avec un bilan hydrique propice à une bonne croissance de l'herbe. Ensuite une période de sécheresse s'étalant sur les mois de juin, juillet et août a été observée (-35, -28 et -23 mm par rapport à la moyenne). Pendant la troisième année, les conditions climatiques ont de nouveau été propices à la bonne croissance de l'herbe au début de la saison de pâturage, mais aux mois de juillet et d'août le temps a été sec et chaud (+5°C par rapport à la moyenne). Les conditions climatiques de la dernière année ont été caractérisées par une période sèche et chaude en début de saison (-28 mm et +3°C par rapport à la moyenne). A la fin de la saison, les précipitations ont été très abondantes (+72 mm par rapport à la moyenne), rendant le pâturage difficile.

4.2- Aspects végétaux.

La composition botanique relevée dans les différentes prairies est indiquée au tableau 2. Pendant la première année, le pourcentage de légumineuses a été plus élevé dans le lot 0 N tandis que le pourcentage de graminées était moins élevé. Il est intéressant de noter que dans l'essai précédent les pourcentages de légumineuses était de 8% avec le niveau intensif et de 14% avec le niveau modéré. Cela peut avoir affecté le pourcentage de trèfle du présent essai car le lot 0 N et 40% de la surface du lot 2/3 N étaient placés sur le lot modéré de l'essai précédent. La diminution du trèfle blanc dans des prairies fertilisées avec des engrais azotés est couramment décrite (Frame et Boyd, 1987) et est attribuée à une meilleure utilisation de l'azote minéral par les graminées (Frame, 1987). En sixième année on n'a pas constaté d'effet de la fumure azotée sur la proportion de trèfle. Cette absence d'effet pouvait être expliquée par les hauteurs d'herbe et le chargement plus élevé dans les lots 3/3 N et 2/3 N par rapport au lot 0 N. En effet avec des chargements plus élevés, la ramification et le développement du trèfle sont favorisés (Frame 1987). L'effet de la fumure azotée sur le trèfle est plus faible quand il existe une défoliation fréquente de la prairie (Frame et Boyd, 1987). Il y a eu par contre plus de graminées dans le lot 2/3 N que dans les deux autres lots. Le pourcentage de plantes diverses a été inférieur dans le lot 2/3 N, mais la relation entre eux a été la même que dans la première année.

Les résultats des mesures phytotechniques et de composition chimique de l'herbe sont donnés dans le tableau 3. Il n'y a pas eu d'interaction significative entre les effets années et traitements. Les hauteurs d'herbe ont été plus élevées dans le lot 0 N sans être significativement différentes (5,2 vs 4,5 cm ; $P > 0,05$). Les hauteurs relevées ont été inférieures à celles conseillées par Wright et Whyte (1989) qui considèrent comme optimales des hauteurs s'échelonnant de 8 à 10 cm. Dans un essai étudiant deux niveaux d'intensification et se passant sur les mêmes parcelles, les hauteurs s'échelonnaient de 5,3 à 5,6 cm (Dufrasne *et al.*, 1995). Les pourcentages de refus ont également été légèrement supérieurs dans le lot 0 N (14,7 vs 11,2% ; $P > 0,05$). Une proportion plus importante de refus avait également été notée au cours de l'essai précédent dans le lot à intensification modérée. Ces observations indiquent que l'accroissement de la fumure azotée avec l'augmentation du chargement a entraîné une meilleure utilisation de l'herbe (Dufrasne *et al.*, 1995).

La teneur en matière sèche de l'herbe n'a pas été affectée par les traitements. Cette observation est opposée aux résultats de Demarquilly (1977) où la fertilisation azotée a diminué la teneur en matière sèche.

Il n'y a pas eu de différences entre traitements pour la teneur en matière azotée totale de l'herbe. Des variations interannuelles ont été observées, cependant aucune interaction significative entre l'année et le traitement n'a été constatée. Par contre, une tendance à l'augmentation de la matière azotée totale avec l'accroissement de la fumure azotée a été observée. On constate habituellement que la fertilisation azotée augmente la teneur en matières azotées totales de l'herbe (Duru, 1992). Cependant la part plus importante du trèfle blanc dans le lot 0 N peut expliquer l'absence de différence significative de la teneur en matière azotée malgré une fumure azotée plus élevée.

Les teneurs en minéraux ont varié significativement ($P < 0,05$) d'une année à l'autre et il n'y a pas eu d'interaction entre l'année et le traitement. Les teneurs en phosphore, potassium et magnésium n'ont pas différencié entre les systèmes. Les teneurs en sodium ont été significativement plus élevées dans le lot 3/3 N (1,4 vs 1,0 g/kg MS ; $P < 0,05$). Par contre, c'est dans le lot 0 N que les teneurs en calcium ont été les plus élevées (7,1 vs 5,9 ; $P < 0,05$). La diminution du calcium observée lorsqu'on augmente la fumure azotée est également

rapportée par Hemingway (1999). L'augmentation des teneurs en sodium dans des prairies composées de trèfle et graminées est rapportée par Reid et Strachan (1974).

4.3- Aspects animaux.

Performances des vaches et des veaux.

Le nombre de journées de pâturage par ha a été de 689 jours pour les lots 3/3 N et 2/3 N et 486 jours pour le lot 0 N. Les résultats des mesures zootechniques sont indiqués dans le tableau 4. Le gain moyen quotidien des vaches a été plus élevé dans le lot 0 N soit 0,357 kg/j vs 0,046 et 0,155 kg/j dans les lots 3/3 N et 2/3 N ($P < 0,05$). Il n'y a pas eu d'interaction significative entre l'année et le traitement. Pendant les 6 années, les gains des vaches dans le lot 0 N ont été plus élevés. Les gains plus faibles dans les lots 3/3N et 2/3N sont à attribuer à l'augmentation du chargement et la réduction de la hauteur de l'herbe constatée dans ces deux lots malgré la fertilisation azotée. Des corrélations significatives entre le gain moyen quotidien des vaches et la hauteur de l'herbe ont été observées ($r = 0,55$; $P < 0,05$), les gains plus élevés des vaches dans le lot 0 N doivent donc être attribués au fait que les hauteurs d'herbe étaient supérieures dans ce lot. Le chargement a influencé fortement les performances des vaches, l'augmentation du chargement provoquant une réduction de la quantité d'herbe offerte par animal et donc des performances (Meadowcroft et Altman, 1982). Les vaches allaitantes sont moins exigeantes pour la qualité de l'herbe que les animaux en croissance, elles tendent à maintenir une consommation d'herbe élevée en sacrifiant sa qualité (Ferrer-Cazcarra *et al.*, 1995).

Il faut prendre en considération aussi le fait que la quantité d'herbe volontairement consommée par les veaux augmente en fonction de leur âge et de leur poids vif ce qui peut augmenter les déficiences en fourrage pendant certaines périodes (Petit et Muller, 1980). Les vaches allaitantes supportent des variations importantes de niveaux alimentaires au cours de différentes périodes de leur vie grâce à la mobilisation possible des réserves corporelles (Petit *et al.*, 1992). Les vaches allaitantes peuvent ainsi maintenir une production de lait adéquate correspondant aux besoins de leurs veaux.

Les gains des vaches dans le lot 3/3 N ont été inférieurs par rapport aux lots 2/3 N sauf pendant les première et deuxième années où ils ont été supérieurs. Pendant les 4 dernières années, les gains plus faibles par rapport au lot 2/3 N peuvent être attribués à une diminution de la densité du gazon, vraisemblablement due à un chargement élevé appliqué pendant plusieurs années (dans le présent essai et l'essai précédent). Conjointement à l'essai rapporté ici, un autre essai a été réalisé dans une parcelle comparant les niveaux de fumure azotée 2/3 N et 3/3 N avec un chargement légèrement réduit. Dans cet essai, il n'a pas été constaté de différences entre les deux lots au cours des six années (Dieguez *et al.*, 2000).

Les gains des veaux ont été similaires entre lots et de l'ordre de 1,1 kg/j ($P > 0,05$). On a constaté des variations interannuelles significatives mais sans interaction entre l'année et le traitement. Aucune corrélation entre les gains quotidiens des veaux et la hauteur de l'herbe n'a été mise en évidence. La complémentation a apporté aux veaux une partie de leurs besoins. Elle a permis de pallier les effets de l'augmentation du chargement et ainsi d'obtenir des gains de poids élevés (Petit *et al.*, 1987).

Les gains des veaux par ha ont été plus élevés dans les lots 3/3 N et 2/3 N dont le chargement était plus élevé que dans le lot 0 N (485 et 491 vs 359 kg/ha). En association avec la diminution du chargement dans le lot 0 N, les gains des vaches par ha ont été plus élevés que dans les lots 2/3 N et 3/3 N (157 vs 97 et 29 kg/ha).

Petit et Muller (1980) rapportent l'existence d'une relation directe entre les gains des veaux et la production laitière des mères. Dans le présent essai, les gains des veaux ont été identiques et l'ingestion de complément a peu varié d'un lot à l'autre. Il apparaîtrait donc logique que la production laitière ait été identique, les vaches des lots 3/3 N et 2/3 N ayant probablement mobilisé leurs réserves afin d'alimenter leurs veaux. Les gains de poids réalisés pendant la saison de pâturage par les vaches peuvent être considérés comme suffisants même s'ils ont été faibles dans le lot 3/3 N (+7, +25 et +54 kg de gain/vache pour les lots 3/3 N, 2/3 N et 0 N).

Teneur en urée plasmatique.

Les teneurs moyennes en urée plasmatique sur tout l'essai ont été plus élevées dans les lots 3/3 N et 2/3 N par rapport au lot 0 N (tableau 4). L'absence de différence entre les lots 2/3 N et 3/3 N est vraisemblablement due au fait que la réduction de la fumure azotée dans le lot 2/3 N est faible par rapport au lot 3/3 N. Par contre dans le lot 0 N où aucun apport de fertilisation azotée n'était effectué les teneurs en urée plasmatique ont été significativement inférieures. Bakanov *et al.* (1976), Astigarraga *et al.* (1993) et Dufrasne *et al.* (1995) ont constaté une augmentation de la teneur en urée plasmatique chez des vaches laitières et allaitantes lorsque la fumure azotée était augmentée.

Les teneurs en urée plasmatique représentant une bonne estimation des rejets azotés dans un troupeau de vaches (Ciszuk et Gebregziabher, 1994), on peut considérer que dans le lot 0 N, les rejets azotés par vache ont donc été moindres que dans les autres lots, d'autant plus que le chargement a été réduit.

Apport économique.

Le bilan économique est donné dans le tableau 5. Le bénéfice net calculé sans tenir compte du gain des vaches et des aides relatives à la politique agricole commune a été inférieur dans les lots 3/3 N et 2/3 N par rapport au lot 0 N. En comptabilisant les primes, le bénéfice net devient beaucoup plus intéressant, la viabilité des systèmes d'élevage des vaches allaitantes dépendant des primes (Pavie et Pflimlin, 1995). Le bénéfice net du lot 0 N calculé avec les primes a été légèrement inférieur par rapport aux lots 3/3 N et 2/3 N (19651 vs 22334 et 22834 FB). En tenant compte des primes à l'extensification dont peut bénéficier le lot 0 N, le bénéfice calculé pour le lot 0 N a été quelque peu supérieur aux deux autres lots (soit 23914 vs 23084 FB). Lorsqu'on rajoute le revenu tiré des gains de poids des vaches, le bénéfice net a été plus élevé dans le lot 0 N (39501 FB), le lot 3/3 N avec de faibles performances chez les vaches ayant présenté un bénéfice net beaucoup plus faible (25750 FB).

5- CONCLUSION.

Du présent essai, il apparaît qu'il est possible de réduire la fumure azotée de 33% avec un même chargement de pâturage sans pénaliser les performances des animaux, des applications de 40 kg N par ha et par passage pouvant donc être remplacées par des applications de 27 kg N.

Avec un apport nul en engrais azoté, on peut obtenir des performances individuelles élevées si le chargement de pâturage est adapté. Ce système peut être appliqué afin de diminuer les intrants dans le cadre d'une politique d'extensification. D'un point de vue environnemental, ce système permet de réduire les rejets azotés. Economiquement, il est aujourd'hui soutenable.

6- RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

ANDRIES A. (1950) : « L'appréciation dans la pratique de la valeur agricole des herbages, par l'examen de leur composition botanique ». Revue de l'Agriculture. 12, 15-19.

ASTIGARRAGA L., PEYRAUD J.L., LE BARS M. (1993) : « Effect of nitrogen fertilization and protein supplementation on herbage utilisation by grazing dairy cows. II.- Fecal and urine excretion ». VIIIème Journées des recherches sur la Nutrition et l'Alimentation des herbivores. 24-25 Mars, 49.

BAKANOV V.N., OVSISHER B.R., BONDAREVA N.I., MAMEV V.A., FILIPPOV V.F. (1976) : « Nonprotein nitrogen and urea in blood and milk of cows in relation to ration composition ». Izvestiya Timiryazevskoi Sel'skokhozyaistvenoi Akademii, 4, 177-182.

CISZUCK P., GEBREGZIABHER T. (1994) : « Milk urea as an estimate of urine nitrogen of dairy cows and goats ». Acta Agric. Scand. 44, 87-95.

DEMARQUILLY C. (1977) : « Fertilisation et qualité du fourrage ». Fourrages 69, 61-84.

DIEGUEZ F., DUFRASNE I., DE BEHR V., MACHIELS D., ISTASSE L. (2000) : « Effects of a reduction of nitrogen fertilizer on performance and plasma urea in grazing Belgian Blue suckling cows ». 51^{ème} Réunion Annuelle de la Fédération Européenne de Zootechnie, La Haye, Pays Bas.

DUFRASNE I., GIELEN M., LIMBOURG P., BRUNDSEAUX C., ISTASSE L. (1995) : « Production bovine allaitante en Belgique : effets de l'intensification et de la complémentation des veaux au pâturage ». Fourrages 141, 91-104.

DURU M. (1992) : « Bases agronomiques pour gérer les ressources fourragères selon différents objectifs de production et d'utilisation. 1992 ». Fourrages, Supplément des Journées AFPF. Paris 25-26 mars, 77-87.

FERRER-CAZCARRA R., PETIT M., D'HOUR P. (1995) : « The effect of sward height on grazing behaviour and herbage intake of three sizes of Charolais cattle grazing cocksfoot (*Dactylis glomerata*) swards ». *Anim. Sci.* 61, 511-518.

FRAME J. (1987) : « The effect of strategic fertilizer nitrogen and date of primary harvest on the productivity of a perennial ryegrass/white clover sward ». *Grass and Forage Sci.* 42, 33-42.

FRAME. J., BOYD A.G. (1987) : « The effect of fertilizer nitrogen rate, white clover variety and closeness of cutting on herbage productivity from perennial ryegrass/white clover swards ». *Grass and Forage Sci.* 42, 85-96.

HEMINGWAY R.G. (1999) : « The effect of changing patterns of fertilizer applications on the major mineral composition of herbage in relation to the requirements of cattle : a 50-year review ». *Animal Sci.* 69, 1-18.

INS - Institut National de Statistiques (1999) : « Statistiques agricoles ». Ministère des Affaires économiques, pp 242.

MEADOWCROFT S., ALTMAN F.B. (1982) : « Nitrogen and stocking rates for grazing beef cattle ». *Expl. Hus.* 38, 163-183.

MICOL D., DEDIEU B., AGABRIEL J., BERANGER C. (1997) : « Adaptation de la production de viande bovine aux systèmes extensifs d'élevage ». *Fourrages* 149, 3-20.

MINITAB (1989) : « Minitab reference manual ». Valley Forge Data Tech. Industries, pp. 349.

PAVIE J., PFLIMLIN A. (1995) : « Extensive livestock production networks : Preliminary results and findings », in : Keane M.G., Pflimlin A. (eds.) *Extensification of beef and sheep production on grasslands*, Occ. Publication 2, Paris, France. 15-26.

PETIT M., MULLER A. (1980) : « Utilisation du pâturage par les vaches allaitantes : influence du chargement ». Ann. Zootech. 29, 317-338.

PETIT M., GAREL J.P., MICOL D. (1987) : « Conduite du troupeau de vaches allaitantes au pâturage : quelques éléments de réflexion ». Bull. Tech. CRZV, 69, 15-20.

PETIT M., JARRIGE R., RUSSEL A.J.F., WRIGHT I.A. (1992) : « Feeding and nutrition of the suckler cow », in : Jarrige R., Béranger C. (eds.), World Animal Science, C5, Elsevier, Amsterdam, 191-208.

REID D., STRACHAN H. (1974) : « The effects of a wide range of nitrogen rates on some chemical constituents of the herbage from perennial ryegrass swards with and without white clover ». J. Agric. Sci. Camb. 83, 393-401.

WRIGHT I.A., WHYTE T.K. (1989) : « Effects of sward surface heights on the performance of continuously stocked spring calving beef cows and their calves ». Grass and Forage Sci. 44, 259-266.

Tableau 1- Fumure azotée, chargement et complément dans des prairies exploitées avec une fumure azotée élevée (3/3 N), réduite (2/3 N) ou absente (0 N).

Table 1- Nitrogen fertilizer, stocking rate and supplement in pasture managed with high (3/3 N), reduced (2/3 N) or without (0 N) nitrogen fertilizer.

Traitement	3/3 N	2/3 N	0 N
Fertilisation azotée (kg N/ha)	202	135	0
Chargement (têtes/ha) :			
- Vaches	4,10 ± 0,13	4,10 ± 0,13	2,85 ± 0,08
- Veaux	3,70 ± 0,13	3,70 ± 0,13	2,62 ± 0,08
Poids vif initial (kg) :			
- Vaches	579 ± 33	575 ± 49	576 ± 35
- Veaux	112 ± 18	113 ± 7	113 ± 8
Jours vêlage – début essai	84 ± 13	84 ± 7	86 ± 8
Cons. maïs (kg/vache)	185	185	185
Cons. concentré (kg/veaux/ha)	79	74	73

Tableau 2- Composition botanique de la prairie.

Table 2- Botanical composition of the sward.

Traitement	3/3 N	2/3 N	0 N
Année 1			
- Légumineuses	15,7	13,5	23,1
- Graminées	78,3	84,1	70,9
- Diverses	5,8	1,5	5,9
Année 6			
- Légumineuses	11,9	12,6	12,1
- Graminées	75,5	80,1	74,3
- Diverses	12,4	7,3	13,5

Tableau 3- Hauteur d'herbe, proportion de refus dans la prairie et composition chimique de l'herbe (teneur en matière sèche et composition dans la matière sèche).

Table 3- Grass height, percentage of refusals in the pasture and chemical composition (dry matter content and composition in the dry matter).

Traitement	3/3 N	2/3 N	0 N
Haut. Herbe (cm)	4,4 ± 2,1	4,6 ± 2,1	5,2 ± 2,1
Refus (%)	11,0 ± 12,5	11,3 ± 12,0	14,7 ± 13,0
Matière Sèche (%)	16,8 ± 5,5	16,6 ± 4,7	15,7 ± 3,8
MAT (g/kg MS)	226,3 ± 38,4	218,8 ± 41,4	216,4 ± 34,1
ADF (g/kg MS)	225,0 ± 17,4	222,0 ± 17,2	220,6 ± 16,5
Ca (g/kg MS)	5,9 ± 1,0 a	5,8 ± 1,1 a	7,1 ± 1,5 b
P (g/kg MS)	4,2 ± 0,8	4,2 ± 0,7	4,4 ± 0,6
Na (g/kg MS)	1,4 ± 0,5 b	1,0 ± 0,3 a	0,9 ± 0,3 a
Mg (g/kg MS)	2,3 ± 0,5	2,2 ± 0,4	2,3 ± 0,4
K (g/kg MS)	33,3 ± 4,6	35,6 ± 5,6	34,9 ± 4,6

Les moyennes suivies de lettres différentes, différent significativement au seuil de 5%.

Tableau 4- Gain moyen quotidien, gain de poids vif à l'hectare et urée plasmatique chez des vaches allaitantes pâturant dans des prairies exploitées avec une fumure azotée élevée (3/3 N), réduite (2/3 N) ou absente (0 N).

Table 4- Daily liveweight gain, liveweight gain per ha and plasma urea of suckling cows grazed in pasture managed with high (3/3 N), reduced (2/3 N) and without (0 N) nitrogen fertilizer.

Traitement	3/3 N	2/3 N	0 N
GMQ (kg/j)			
- Vaches	0,046 ± 0,192 a	0,155 ± 0,220 a	0,357 ± 0,210 b
- Veaux	1,104 ± 0,215	1,127 ± 0,157	1,181 ± 0,212
Gain du poids (kg/ha)			
- Vaches	29 ± 67	97 ± 91	157 ± 62
- Veaux	485 ± 85	491 ± 44	359 ± 41
Reprise totales de poids (kg/tête)			
- Vaches	7 ± 18 a	25 ± 25 b	54 ± 24 b
- Veaux	131 ± 25	133 ± 13	138 ± 17
Urée plasma. (mg N/l)	302 ± 61 b	279 ± 56 b	241 ± 47 a

Les moyennes suivies de lettres différentes, différent significativement au seuil de 5%.

Tableau 5- Bilan économique par ha.

Table 5- Economic balance per hectare.

	Traitement	3/3 N	2/3 N	0 N
Bénéfice net (FB)				
- veau		-3001	-2501	968
- veau avec prime		22834	23334	19651
- veau avec prime extensif.		22834	23334	23914
- vaches et veau		25750	32892	39501

ETUDE 2. Incidences phytotechniques et zootechniques d'une réduction ou d'une suppression de la fertilisation azotée sur des prairies pâturées par des vaches laitières.

TITLE: Phytotechnical and zootechnical effects of a nitrogen fertilizer reduction or suppression on pasture grazed by dairy cows.

AUTEURS : Dieguez Cameroni, Francisco (1)* ; Hornick, Jean-Luc (1) ; De Behr, Vanessa (1) ; Istasse, Louis (1) et Dufrasne, Isabelle (2).

Adresses : 1) Service de Nutrition Bât. B43 et 2) Station Expérimentale Bât. B39, Faculté de Médecine Vétérinaire, Université de Liège. 4000 Liège, Belgique.

Téléphone : +32 4 / 366 23 73

Fax : +32 4 / 366 23 70

* e-mail : isabelle.dufasne@ulg.ac.be

Titre abrégé : Fertilisation azotée et pâturage des vaches laitières.

RESUME

L'effet du niveau d'intensification a été étudié dans des parcelles pâturées par des vaches laitières pendant 6 années consécutives dans un système de pâturage tournant. Les trois traitements comparés ont été un niveau élevé (H-N, 136 kg N/ha/an, 3,35 vaches/ha), un niveau modéré avec une réduction de 33% de la fertilisation azotée et le même chargement (M-N, 91 kg N/ha/an, 3,35 vaches/ha) et un niveau faible avec un chargement réduit (0-N, 0 kg N/ha/an et 2,51 vaches/ha). Les traitements n'ont affecté ni la hauteur de l'herbe à la sortie des parcelles, ni pourcentage de refus, ni la teneur en matière azotée totale et en ADF de l'herbe pâturée, mais les hauteurs de l'herbe à l'entrée des parcelles et la production de MS/ha ont augmenté dans les traitements H-N et M-N. Le pourcentage de trèfle a été réduit pendant la première et la sixième année dans les traitements H-N et M-N. La production de lait individuelle n'a pas été affectée par les traitements (15.4 kg/j), mais la production à l'hectare a été fortement influencée par le niveau de chargement. Le taux butyreux a été supérieur dans le lot 0-N (4,10 vs 3,90% ; $P < 0,05$), le taux protéique et la teneur en cellules n'ont pas été influencés par les traitements. Le gain quotidien moyen des vaches a été semblable dans les trois traitements (0.23 kg/j). Les teneurs en urée plasmatique et dans le lait ont été significativement plus faibles dans le lot 0-N (151 vs 164 mg N/l dans le plasma et 175 vs 194 mg N/l dans le lait respectivement ; $P < 0,05$). Les rejets azotés journaliers par vache ont été similaires dans les trois lots. Le bilan azoté de la parcelle a été réduit dans le lot 0-N. En conclusion, dans cet essai, il a été possible de réduire de 33% la fertilisation azotée tout en maintenant le niveau de production. Dans un système sans fertilisation azotée avec un chargement adapté, on peut obtenir des productions individuelles semblables aux systèmes plus intensifs avec une efficacité de l'utilisation de l'azote accrue et une réduction des rejets azotés à l'hectare.

ABSTRACT

Three levels of intensification were compared in a permanent pasture grazed over 6 consecutive years in a rotational grazing system. The three levels of intensification were as follow: a high nitrogen fertilizer input system with 136 kg N/ha and with 3.35 cows/ha –H-N group–, a system with moderate fertilizer input in which nitrogen fertilization was reduced by 33% but with the same stocking rate –M-N group– with 91 kg N/ha along with 3.35 cows/ha and a system with no fertilization associated with a reduced stocking rate and no nitrogen fertilizer –0-N group– with 2.51 cows/ha. There were no effects of the treatments on grass characteristics –e.g. output grass height, percentage of refusals, total nitrogen content, fiber content–. The absence of nitrogen fertilization reduced the input grass height and DM yield of pasture. The clover content was reduced in the first and sixth years in nitrogen fertilized groups. The individual milk yield was not affected by treatments (14.4 kg/d) but the milk yield per hectare was largely affected by the stocking rate. The protein content and cell count were unaffected by treatments but butter fat content was higher in 0-N group than in the other two groups (4.10 vs. 3.90%; $P < 0.05$). The average daily liveweight gain was not affected by treatments (0.23 kg/d). The plasma and milk urea contents were significantly higher in fertilized groups than in 0-N group (164 vs. 151 g N/l in plasma and 194 vs. 175 mg N/l in milk respectively; $P < 0.05$). Daily nitrogen excretion per animal was similar between treatments but when expressed per ha and year, the excretion was higher in fertilized groups. It appeared thus that a 33% reduction of nitrogen fertilization with a similar stocking rate allowed performances either on individual animal or on a per hectare basis to be maintained. Grazing management with no nitrogen fertilization but with adjusted stocking rate induced a reduction in performances when expressed per hectare but maintained similar individual performances as with high input systems; there were furthermore a higher nitrogen efficiency and a reduction in nitrogen excretion per hectare.

Mots Clés : vaches laitières / fertilisation azotée / pâturage / production / bilan azoté.

Keywords: dairy cows / nitrogen fertilization / grazing / milk yield / nitrogen balance.

1. INTRODUCTION

En Europe de l'Ouest et en Belgique plus particulièrement, la production de lait reste largement basée sur la production de fourrages. Dans ces conditions, l'herbe pâturée reste le fourrage le moins coûteux. Depuis les années 60, la production laitière a été menée de manière très intensive : l'augmentation conjointe des niveaux de fertilisation azotée et de chargement a permis des accroissements de la production [9]. Cette augmentation du niveau d'intensification et ses répercussions sur les paramètres phytotechniques et les performances animales ont été largement étudiées [20, 25]. Ces systèmes intensifs, s'ils permettent des performances élevées par hectare, s'accompagnent généralement d'un bilan azoté élevé et d'une efficacité faible de l'azote.

L'instauration des quotas laitiers en 84, la réforme de la politique agricole commune en 92 et les problèmes environnementaux associés aux excès d'azote ont réorienté la gestion de la production laitière ; en Belgique le nombre de vaches laitières par exploitation et le recours aux engrais azotés ont diminué [31]. Les systèmes n'employant pas d'engrais azoté ont été étudiés dans le cadre de l'extensification, mais il n'y a pas eu beaucoup d'études s'intéressant à des systèmes désintensifiés comme les définissent Grenet *et al.* [21].

Dans le contexte actuel d'une politique plus soucieuse de l'environnement, il est intéressant de diminuer les quantités d'engrais azoté appliquées [41]. Au pâturage, les vaches ont la capacité d'adapter leur comportement et le niveau d'ingestion à la quantité d'herbe disponible : elles peuvent pâturer plus ras par exemple en cas de disponibilité en herbe réduite de façon à maintenir un niveau d'ingestion adéquat. La réduction de la fumure azotée sans modification du chargement et ses effets sur les performances animales ont été peu étudiés.

Le but de cet essai est d'étudier les effets d'une réduction de la fertilisation azotée sans réduction du chargement ou d'une suppression de la fertilisation azotée avec un chargement adapté sur les paramètres phytotechniques, les performances animales et le bilan azoté d'une prairie pâturée par des vaches laitières.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Principes et traitements expérimentaux.

Trois niveaux de fertilisation azotée ont été comparés pendant six années consécutives (93-98). Les niveaux annuels de fertilisation ont été de 136 kg N (40 kg N/ha après chaque passage) dans le traitement H-N, 91 kg N (27 kg N/ha après chaque passage) dans le lot M-N et 0 kg N dans le traitement 0-N. Chaque année, les mêmes parcelles ont été attribuées aux mêmes traitements. Le chargement a été identique dans les parcelles recevant de l'engrais azoté. Dans la parcelle ne recevant aucun engrais azoté, le chargement a été diminué à priori de 25%. Les parcelles affectées aux lots H-N et M-N ont été pâturées à un même âge de repousse lors des différents cycles de pâturage.

2.2. Prairies et conduite du pâturage.

L'essai a eu lieu sur prairie permanente située dans la région liégeoise à une altitude de 150 m. La superficie totale a été de 2,62 hectares pour les traitements avec fertilisation azotée et 3,50 ha pour le traitement 0-N. Chaque traitement était composé de 6 parcelles de 43,7 ares en moyenne dans les lots H-N et M-N et de 58,3 ares dans le lot 0-N. Le système de pâturage tournant a été appliqué.

La flore de la prairie au début de l'essai était constituée de 74% de graminées, 15% de trèfle blanc et de 11% de plantes diverses. Chaque année en avril, les prairies ont reçu une fertilisation de fond constituée de 54 unités de P₂O₅ et 54 unités de K₂O. Les applications d'engrais azotés sur les parcelles des lots H-N et M-N ont commencé au deuxième passage des animaux et ont été effectuées après chaque sortie des animaux, sauf lors des périodes de sécheresse prolongée.

Les lots H-N et M-N étaient conduits de manière similaire tandis que le lot 0-N était conduit de manière indépendante. La sortie des animaux des parcelles des traitements H-N et M-N était décidée quand la production laitière des 3 derniers jours du lot H-N chutait à 90% de la

production maximale observée sur la parcelle. Le même critère était appliqué par les animaux du lot 0-N.

Des génisses de deux ans ont été ajoutées en début de saison pendant la première et la dernière année afin de valoriser les excédents d'herbe. Un taureau a accompagné les vaches afin de les féconder. Une fauche de refus était effectuée une fois sur chaque parcelle après le premier ou le deuxième passage des animaux.

2.3. Animaux.

Le nombre d'animaux total par année était de 27 vaches pendant les trois premières années et de 24 vaches pendant les trois dernières années. La majorité des vaches étaient Pie Noir Holstein (50%). Il y avait également des Pie Rouge (25%) et des croisées Pie Noir et Blanc Bleu Belge (25%). Le pourcentage de primipares était de 35%. Chaque année, les animaux ont été répartis en 3 lots le plus homogène possible sur base de la race, du numéro de lactation, de la date de vêlage, de la production de lait de la lactation antérieure et de la production à la mise à l'herbe. Pendant la période pré-expérimentale, les animaux ont pâturé ensemble les 2 premières parcelles de chaque traitement.

Au début de l'essai, les vaches pesaient en moyenne 536 kg et avaient vêlé depuis 59 jours. Elles produisaient 21,2 kg/j de lait. L'aliment complémentaire était constitué de pulpes séchées (50%) et d'orge aplatie (50%). Il était distribué pendant la traite à l'aide d'un distributeur manuel. La complémentation individuelle a été fixée à raison de 1 kg par tranche de 3 kg de lait pour les productions supérieures à 12 kg/jour. Elle a été augmentée de 0,6 kg/va/j tous les mois à partir du quatrième mois pour tous les animaux afin de soutenir la production laitière. Des pierres de sel (NaCl) étaient mises à la disposition des animaux.

2.4. Mesures.

2.4.1. Prairies.

La production de matière sèche à l'hectare de la prairie a été mesurée la première année dans 3 enclos soustraits au pâturage, comportant chacun les 3 niveaux de fertilisation azotée. Les enclos étaient subdivisés en 2 bandes de 5 m² chacune. Ces bandes ont été coupées en alternance toutes les 2 semaines à l'aide d'une tondeuse à gazon, à une hauteur de 4 cm.

Les hauteurs d'herbe ont été mesurées lors de chaque entrée et sortie des parcelles à l'aide d'un herbomètre à plateau en aluminium de 30 cm de côté exerçant une pression de 2 kg/m² et coulissant sur un axe gradué : 100 mesures ont été effectuées par ha. Les pourcentages de refus ont été calculés à la sortie des animaux, en considérant la proportion des mesures qui tombaient sur des refus sur le total de mesures effectuées. Les refus étaient appréciés visuellement.

La composition chimique de l'herbe a été déterminée à partir d'échantillons prélevés toutes les deux semaines aux ciseaux à une hauteur de 1 cm. On prélevait un échantillon qui représentait 10 à 15 poignées prises au hasard.

La composition de la flore a été estimée la première et la dernière année par une méthode adaptée de la méthode des fréquences [1]. Les observations n'ont pas été réalisées par la même personne entre l'année 1 et l'année 6.

Les journées de pâturage des animaux hors essai ajoutés au lot pour valoriser les parcelles ont été comptabilisées.

La pluviométrie et les températures moyennes quotidiennes ont été relevées à partir des stations météorologiques dépendant de l'Institut Royal Météorologique implantées non loin des parcelles.

2.4.2. Animaux

Les mesures zootechniques comprenaient la pesée journalière des productions laitières lors de la traite du matin (6 h 00) et du soir (15 h 00) à l'aide de compteurs à lait. Les teneurs en matières grasses et protéiques, en urée et le nombre de cellules dans le lait ont été déterminés mensuellement à partir d'un échantillon correspondant au lait d'une journée. Les animaux ont été pesés tous les 28 jours. Les gains par hectare ont été obtenus en additionnant les gains de poids vif des vaches laitières en expérimentation et les animaux ajoutés. Un échantillon de sang a été prélevé lors de chaque pesée. La teneur en urée plasmatique a été déterminée à partir des plasmas conservés au congélateur par la méthode de la diacétylmonoxime. Les consommations de complément ont été répertoriées. Les doses distribuées ont été pesées deux fois par mois dans chacun des deux distributeurs.

2.5. Analyses statistiques et calculs du bilan azoté.

Les résultats ont été traités par la procédure « General Linear Model » à l'aide du logiciel MINITAB [32]. Le modèle statistique a été : $Y_{ij} = T_i + A_j + T_i \times A_j + e_{ij}$ avec T : effet Traitement (ddl = 2), A : effet Année (ddl = 5) et e : résiduelle. Les résultats de production à l'ha ont été comparés par analyse de variance à un critère en considérant le traitement comme facteur de variation. Les variables qui ont présenté des différences entre les traitements ont été comparées par la méthode des contrastes orthogonaux [6] en vue d'analyser statistiquement l'effet de l'absence ou de la présence de fertilisation azotée associée à la réduction du chargement (0-N vs H-N et M-N) et l'effet du niveau de fertilisation azotée avec le même chargement (H-N vs M-N).

Pour le calcul du bilan azoté, l'excrétion d'azote journalière a été calculée en utilisant la formule proposée par De Brabander *et al.* [7] : Excrétion totale d'azote (g N/jour) = $43,1 + 0,36 \times \text{urée plasmatique (mg N/l)} + 6,0 \times \text{production laitière (kg/j ; moyenne hebdomadaire des deux traites)}$. L'excrétion d'azote à l'hectare a été calculée en fonction de l'excrétion journalière et du nombre de journées de pâturage réalisées par hectare.

Les apports d'azote par la pluie ont été estimés à 10 kg N/ha/an selon les résultats publiés par Decau *et al.* [8] et Simpson et Stobbs [39]. La fixation d'azote par les légumineuses a été calculée en fonction de la formule proposée par Farruggia *et al.* [15] : Fixation d'azote lég.= Biomasse produite par la prairie (kg MS/ha) x TB% x %NTB x %fixation, où TB% : pourcentage du trèfle ; %NTB : teneur en azote du trèfle (0,035) ; %fixation : fixation moyenne d'azote du trèfle (0,9).

Les exportations d'azote par le lait (kg/ha/an) ont été estimées par le produit entre la production laitière et sa teneur en azote [15]. L'azote fixé dans la viande a été calculé en fonction du gain de poids et sa teneur en azote (0,024) comme l'ont proposé Farruggia *et al.* [15]. L'azote apporté par les aliments de complément a été calculé à partir des quantités distribuées et leur teneur en azote [26] pendant la période de pâturage. Il s'agissait d'un mélange de pulpes séchées de betteraves sucrières et d'orge aplatie dans une proportion de 50/50 distribué à chaque traite, soit d'ensilage de maïs distribué pendant les périodes de déficience d'herbe au mois de juillet pendant les trois premières années.

L'efficacité de l'utilisation d'azote du système a été calculée selon la formule proposée par Leach et Bax [30], soit : Efficacité (%) = (N viande + N lait) / Entrées, où les entrées considérées ont été la fertilisation azotée, l'apport d'azote par la pluie, l'azote des aliments complémentaires et la fixation biologique par le trèfle.

3. RESULTATS

3.1. Conditions climatiques et déroulement du pâturage.

Au cours des deux premières années, le mois de mai a été doux (+2°C par rapport à la moyenne des 31 dernières années) et avec un bilan hydrique propice au démarrage des essais (tableau I). Ensuite une période de déficit hydrique s'étalant sur les mois de juin, juillet et août a été observée (-35, -28 et -23 mm par rapport à la moyenne). Pendant la troisième année, les conditions ont été propices à la bonne croissance de l'herbe au début de la saison de pâturage, mais aux mois de juillet et d'août le temps a été sec et chaud (+5°C par rapport à la moyenne). Lors de la quatrième année, les températures et la pluviosité ont été plus faibles par

rapport à la moyenne (-1,2°C, -32 mm) de la mise en prairie jusqu'au mois de juillet. Au mois d'août, les précipitations et la température ont été plus élevées (+80 mm, -1,2°C) et en fin de saison, il a fait sec et froid (-24 mm et -1°C par rapport à la moyenne). Au démarrage de l'essai à cinquième année, le temps a été chaud et humide jusqu'au mois de juin (+1°C et +35 mm). A partir du mois de juillet, les températures ont été plus élevées par rapport à la moyenne (+1°C) mais un déficit hydrique a persisté jusqu'à la fin de l'essai (-25 mm). Les conditions climatiques de la dernière année ont été sèches et chaudes en début de saison (-28 mm et +3°C). A la fin de la saison les précipitations ont été très abondantes (+72 mm) , rendant le pâturage difficile.

La mise à l'herbe a eu lieu entre le 24 avril et 5 mai. Le temps de séjour moyen par parcelle a été de 6,5 jours dans les lots H-N et M-N et de 7,2 jours dans le lot 0-N (tableau II).

3.2. Caractéristiques phytotechniques.

La production d'herbe de la première année a été de 9643, 11454 et 11728 kg MS/ha respectivement pour les traitements 0-N, M-N et H-N. La composition botanique relevée dans les différents traitements est indiquée au tableau III. A la fin de la première année, le pourcentage de trèfle blanc a été plus élevé dans le traitement sans apport de fertilisation azotée tandis que le pourcentage de graminées était moins élevé. Il n'est pas possible de comparer les compositions botaniques relevées lors de la première et de la sixième année car elles n'ont pas été réalisées par la même personne. En sixième année, la proportion de trèfle était plus importante dans le traitement 0-N que dans les traitements M-N et H-N. Il y a eu par contre plus de graminées dans le lot H-N que dans les deux autres traitements. Les pourcentages de plantes diverses ont été identiques dans les trois traitements comme c'était déjà le cas en première année.

Les résultats des mesures phytotechniques et de composition chimique de l'herbe sont présentés au tableau IV. Les hauteurs d'herbe à l'entrée des parcelles ont été plus élevées significativement en présence de fertilisation azotée (11,6 vs 10,6 cm) et quand la fertilisation était élevée (11,9 vs 11,2 cm).

Les hauteurs à la sortie des parcelles n'ont pas été significativement différentes entre les traitements, les hauteurs dans les parcelles 0-N étant intermédiaires à celles des autres traitements. Les proportions de refus ont été légèrement supérieures dans les traitements H-N et 0-N par rapport au M-N sans être significativement différentes (10,0 vs 9,2%).

La teneur en matière sèche de l'herbe (tableau IV) n'a pas été affectée significativement par les traitements (17,1, 17,4 et 17,5% MS, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement). Il n'y a pas eu de différences entre les traitements pour les teneurs en matière azotée totale (201,8, 199,8 et 202,0 g/kg MS, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement), en azote non protéique (22,7, 22,7 et 21,6% MAT, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement), en azote soluble (32,4, 33,1 et 31,8% MAT, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement), en azote protéique soluble (9,8, 10,5 et 10,3% MAT, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement) et en ammoniacque (2,1, 2,2 et 2,3% MAT, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement). Les teneurs en nitrates ont été plus élevées quand la fertilisation azotée a été utilisée (9,2 vs 7,2% MAT ; $P < 0,05$), mais il n'y a pas eu de différence entre les lots H-N et M-N. Des différences inter annuelles significatives ($P < 0,05$) ont été constatées, mais aucune interaction année x traitement n'a été observée.

Les teneurs en minéraux (tableau IV) ont varié d'une année à l'autre et il n'y a pas eu d'interaction entre les effets année et traitement. Les teneurs en phosphore (3,80, 3,89 et 3,96 g/kg MS, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement), potassium (33,10, 33,02 et 32,20 g/kg MS, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement) et magnésium (2,23, 2,22 et 2,27 g/kg MS, traitements H-N, M-N et 0-N respectivement) n'ont pas différencié entre les systèmes. Les teneurs en sodium ont été significativement plus élevées quand la fertilisation azotée était appliquée (0,93 vs 0,80b g/kg MS pour les traitements H-N et M-N et 0-N respectivement ; $P < 0,05$). Les teneurs en calcium ont été plus faibles en présence de fertilisation azotée (6,98 vs 8,79b g/kg MS, traitements H-N et M-N et 0-N respectivement ; $P < 0,05$). Lorsque la quantité d'engrais azoté était élevée, les teneurs en calcium étaient plus faibles (6,54 vs 7,51 g/kg MS dans les traitements H-N et M-N respectivement ; $P < 0,05$).

3.3. Performances zootechniques.

3.3.1. Production laitière et composition du lait.

Ni la production journalière individuelle des vaches (15,4 kg/vache/j ; tableau V), ni son évolution au cours de la saison de pâturage (figure 1) n'ont été affectées par les traitements. Par contre, la production par hectare a été supérieure quand le niveau d'intensification était plus élevé (8655 vs 6612 kg/ha ; $P < 0,05$, tableau VI). La réduction de la fumure azotée n'a pas eu d'effet significatif sur la production de lait à l'hectare. La production de lait autonome, correspondant au lait produit après déduction du lait produit grâce à l'énergie apportée par les aliments complémentaires [9] a été plus élevée dans les lots avec fumure azotée sans être significativement différente de celle du lot 0-N.

La teneur en protéines du lait n'a pas été influencée par les traitements (3,33%). La teneur en matières grasses du lait a été supérieure dans le lot 0-N (4,11 vs 3,91% ; $P < 0,05$), mais n'a pas été influencée par la quantité d'engrais azoté. Les lots avec fertilisation azotée ont présenté une production de matière grasse/ha supérieure au lot 0-N (320 vs 255 kg/ha ; $P < 0,05$). La teneur en cellules dans le lait n'a pas été significativement différente entre lots, malgré une tendance à des teneurs moindres dans le lot 0-N (194, 208 et 156 milliers/ml pour les lots H-N, M-N et 0-N).

Le gain quotidien moyen des vaches n'a pas été influencé par les traitements et a été en moyenne de 0,23 kg/j.

Dans les parcelles du traitement 0-N, chaque année il a fallu ajouter plus d'animaux supplémentaires dans les périodes d'excès d'herbe par rapport aux autres 2 lots et le nombre d'animaux ajoutés ont varié d'une année à l'autre (10,3 vs 3,6%, traitements 0-N vs M-N et H-N ; $P < 0,05$). Cependant le nombre de journées de pâturage a été plus grand dans les lots H-N et M-N que dans le lot 0-N (584 vs 473 j/ha respectivement ; $P < 0,05$).

3.3.2. Teneurs en urée plasmatique, urée du lait et excrétion azotée.

Les teneurs en urée dans le lait et dans le plasma ont été significativement plus faibles dans le lot 0-N que dans les deux autres lots (175 vs 194 mg N dans le lait et 151 vs 164 mg N/l dans le plasma; $P < 0,05$). Des corrélations ont été calculées entre les teneurs en urée plasmatique et en urée du lait, le coefficient de détermination a été de 74% ($P < 0,05$). L'excrétion journalière totale d'azote par vache (tableau V) des lots H-N et M-N a présenté des valeurs supérieures à celles du lot 0-N (206 vs 200 g N/j pour les traitements H-N et M-N et 0-N respectivement ; $P < 0,05$). De même, l'excrétion d'azote à l'hectare (tableau VI) a été supérieure dans les lots avec fertilisation azotée par rapport au lot 0-N (111 vs 80 kg N/ha/année, traitements H-N et M-N vs 0-N ; $P < 0,05$). Il n'y pas eu de différence significative entre les lots H-N et M-N en ce qui concerne les teneurs en urée et les rejets azotés.

3.4. Bilan azoté.

Le tableau VII donne le bilan azoté des systèmes de pâturage. Le bilan a été positif dans les trois lots, avec des valeurs de 38, 115 et 147 kg N/ha/an respectivement pour les lots 0-N, M-N et H-N. L'efficacité calculée pour les trois lots a été respectivement de 50, 24 et 29% pour les lots 0-N, M-N et H-N.

4. DISCUSSION

4.1. Aspects végétaux

La production de matière sèche ainsi que la hauteur d'herbe à l'entrée des parcelles ont été plus élevées dans le traitement H-N. Ces résultats sont en accord avec ceux publiés par Delaby et Peyraud [9]. La réponse de la production d'herbe à la fertilisation azotée a diminué quand le niveau de fumure a augmenté en année 1 : elle a été de 21 kg MS/kg N entre les traitements 0-N et M-N et de 6,5 kg MS/kg N entre les deux traitements M-N et H-N. Selon Holmes [24] et Prins [35] des réponses de 15 à 7,5 kg MS/kg N peuvent respectivement être

obtenues pour des applications de fertilisation azotée de 200 à 400 kg/ha. Pour des niveaux plus faibles de fertilisation azotée (80 kg N/ha), Frame [17] a rapporté des réponses plus grandes de l'ordre de 20 kg MS/kg N appliqué.

Les hauteurs résiduelles relevées après le passage des animaux ont été légèrement inférieures à celles rapportés par Delaby et Peyraud [9] et Hoden *et al.* [23]. Ces derniers auteurs ont constaté qu'une hauteur d'herbe résiduelle de 5-6 cm n'est pas limitante pour la production laitière individuelle et qu'à cette intensité de pâturage la production de lait à l'ha peut être augmentée avec un chargement plus élevé. Une diminution de la hauteur de l'herbe a été constatée dans le traitement M-N par rapport au H-N aussi bien à l'entrée qu'à la sortie des parcelles. Les vaches du lot M-N ont donc adapté la hauteur de pâturage afin de maintenir une ingestion d'herbe suffisante.

La diminution de la proportion de trèfle dans des prairies recevant de la fertilisation azotée est couramment décrite dans la littérature [19] et est attribuée à une meilleure utilisation de l'azote minéral par les graminées, avec pour conséquence une plus forte compétition pour la lumière entre graminées et légumineuses [24, 17].

La teneur en matière sèche de l'herbe n'a pas été affectée par les traitements. Cette observation est opposée aux résultats de Demarquilly [12] et Delaby et Peyraud [9] où la fertilisation azotée a diminué la teneur en matière sèche de l'herbe.

Dans le présent essai on n'a pas constaté de différences significatives entre traitements pour les teneurs en MAT. Habituellement, il est constaté que la fertilisation azotée augmente la teneur en matières azotées totales de l'herbe des prairies mixtes [12, 34]. Dufrasne *et al.* [14] avaient également constaté des teneurs en MAT similaires lorsque les quantités d'engrais azoté étaient augmentées dans des prairies permanentes de composition floristique similaire à celle étudiée dans cet essai. L'absence d'effet de la fertilisation sur la teneur en MAT dans cet essai peut être mise en relation avec la présence plus importante du trèfle dans les parcelles du traitement 0-N, comme l'ont observé Delaby et Peyraud [9] qui ont rapporté que l'absence de fertilisation permet au trèfle blanc de se développer et d'offrir aux animaux une herbe de qualité voisine à celle des prairies fertilisées. L'effet de l'accroissement de la teneur en nitrates avec la fertilisation azotée a été déjà décrit par plusieurs auteurs [2, 12, 25].

La diminution de la teneur en calcium observée avec l'augmentation la fertilisation azotée est également rapportée par Coombe et Hood [5] et Hemingway [22]. Les teneurs en potassium et phosphore de l'herbe sont comprises dans les fourchettes des valeurs citées par Hemingway [22]. Par contre, ce dernier rapporte que la teneur en magnésium augmente avec la fertilisation, citant des concentrations de l'ordre de 1,50 à 1,79 g/kg MS. Les teneurs en magnésium plus élevées dans le présent essai que celles citées par Hemingway [22] peuvent être associés à la présence de trèfle blanc dans les parcelles. C'est dans ce contexte que de manière logique les teneurs en magnésium ont été aussi élevées dans le lot 0-N que dans les autres lots en raison de la plus forte proportion de trèfle blanc, espèce plus riche en magnésium que la plupart des graminées. La teneur en sodium a été significativement plus faible dans le lot 0-N. Cette diminution a été reliée à une plus grande consommation de sel à partir des pierres à lécher dont disposaient les animaux en prairie. L'augmentation des teneurs en sodium dans des prairies composées de trèfle et graminées est rapportée par Reid et Strachan [36].

4.2. Aspects animaux.

4.2.1. Production laitière et composition du lait.

La production journalière individuelle des vaches n'a pas été affectée par les traitements. Dans le lot M-N les vaches ont adapté leur hauteur de pâturage, en broutant l'herbe plus ras. Dans un essai similaire avec des vaches allaitantes pâturant en continu, la densité du gazon a été diminuée avec l'augmentation de la fertilisation après quelques années. Une telle diminution n'a pas été constatée visuellement, mais il est probable que le pâturage plus ras des animaux aie entraîné une augmentation de la densité du gazon. Les vaches ont donc pâturé plus ras une herbe probablement plus dense : la quantité ingérée par les vaches du lot M-N a logiquement été semblable à celle ingérée par les vaches H-N permettant des productions de lait semblables. Dans le lot 0-N, les productions individuelles ont été équivalentes à celles des deux autres lots. La hauteur d'herbe à l'entrée a été plus faible, la hauteur à la sortie a été identique et la surface par animal était plus grande. Dans ces conditions il est à nouveau vraisemblable que les ingestions ont été identiques à celles des autres lots.

La production de lait à l'hectare a été inférieure dans le lot sans fertilisation azotée en raison de la réduction du chargement. Ces résultats sont semblables à ceux publiés par Delaby et Peyraud [9] qui n'ont pas observé des différences de production individuelle mais une réduction de la production à l'hectare en systèmes extensifs de pâturage. Béranger et Micol [3] citent des réductions de 10% de la production individuelle et une augmentation de 20% de la production à l'hectare avec l'augmentation d'une vache à l'ha (entre 2 et 4 vaches/ha). La production du lait autonome 4% n'a pas présenté de différence significative entre les lots H-N et M-N mais le lait autonome 4% des lots avec fertilisation azotée a été supérieur de 990 kg/ha par rapport au lot 0-N. Delaby et Peyraud [9] ont également rapporté une augmentation de la production du lait autonome lorsque le niveau d'intensification était augmenté. La réponse à la fertilisation azotée a été de 22,6 kg lait/kg N entre les traitements 0-N et M-N et de -0,6 kg lait/kg N entre M-N et H-N. Delaby et Peyraud [9] ont calculé à partir d'une synthèse bibliographique des réponses moyennes de 14,1 kg lait/kg N appliqué avec une production moyenne de 15,8 kg de lait/j. Une augmentation de la fertilisation azotée n'a pas permis dans cet essai d'augmenter la production de lait.

La teneur en protéine du lait n'a pas été influencée par les traitements, ce qui est en accord avec les observations de Fiorelli [16] et Coombe et Hood [5]. Dans le présent essai, la teneur en matière grasse du lait a été supérieure dans le lot 0-N. Delaby et Peyraud [9] ont observé également une tendance à l'augmentation des matières grasses avec la réduction de la fertilisation azotée.

Le gain quotidien moyen n'a pas été affecté par les traitements. Ce résultat est en accord avec celui publié par Delaby et Peyraud [9] qui ont obtenu des gains de poids comparables et n'ont pas observé d'effets du niveau de la fertilisation azotée sur le poids vif. Gordon [20] en travaillant avec de hauts niveaux de fertilisation azotée (400 et 700 kg N/ha) n'a pas observé de différences de changement de poids entre niveaux de fertilisation azotée mais bien entre différents niveaux de chargement. King et Stockdale [29] ont observé qu'avec une augmentation du chargement d'une vache laitière à l'ha, le poids au tarissement est réduit de 22 kg/vache.

Les jours de pâturage pour chaque kilo d'azote appliqué entre les traitements M-N et 0-N ont été augmentés de 1,22 jours. Delaby et Peyraud [9] ont obtenu une réponse similaire. Ces

auteurs rapportent à partir d'une revue bibliographique qu'en dessous d'une fertilisation annuelle de 450 kg N/ha, la relation entre la fertilisation azotée et les journées de pâturage est linéaire avec un coefficient de 0,87 jour de pâturage/kg N. Dans le présent essai, il n'y a pas eu d'augmentation des jours de pâturage entre les lots M-N et H-N, le supplément de fertilisation azotée n'ayant pas avantage le lot H-N.

Il a fallu ajouter plus d'animaux supplémentaires dans les parcelles du traitement 0-N afin de pâturer les excédents d'herbe. On peut supposer que, d'une part le chargement de départ dans le lot 0-N était un peu faible et que, d'autre part la variabilité inter annuelle peut être accrue quand aucune fertilisation azotée n'est apportée, la fourniture d'azote par le sol (via la minéralisation) étant très dépendante des conditions climatiques [9].

4.2.2. Teneurs en urée plasmatique et urée du lait

Les teneurs en urée plasmatique ont varié de 122 à 200 mg N/l. Ces valeurs sont plus élevées que celles rapportées par Vagneur [40] qui considèrent comme normales des valeurs de 92 à 138 mg N/l ; cependant ces teneurs se trouvent dans la fourchette citée par Doxey [13] de 59 à 265 mg N/l. Les teneurs en urée plasmatique obtenues sans fertilisation azotée ont été significativement inférieures. Ces teneurs plus faibles en urée plasmatique ne peuvent pas être expliquées par les teneurs en MAT de l'herbe qui sont les mêmes dans les trois traitements. Par contre, les teneurs en nitrates de l'herbe plus élevées dans le traitement H-N pourraient partiellement expliquer ces différences. L'absence de différence significative entre les lots H-N et M-N est vraisemblablement due au fait que la réduction de la fertilisation azotée dans le lot M-N est faible par rapport au lot H-N.

La corrélation calculée entre la teneur en urée plasmatique et l'urée du lait ($r^2 = 74\%$) est inférieure à celle trouvée par Roseler *et al.* [37] avec un coefficient de détermination de 88%, mais elle reste cependant relativement élevée. Dans le lot H-N, la corrélation a été légèrement supérieure ($r^2 = 76\%$; $P < 0,05$).

Les teneurs en urée du lait représentent une bonne estimation des rejets azotés dans un troupeau de vaches [4, 7, 28]. Les excréctions journalières d'azote par vache calculées à partir

des teneurs en urée et de la production laitière ont été plus élevées en présence de fertilisation azotée. Cette observation est probablement à relier à la plus haute teneur de l'herbe en nitrates observée dans ce traitement, malgré l'absence des différences dans les teneurs en MAT entre traitements. Delaby *et al.* [10] ont constaté une augmentation des rejets azotés et expliquaient leurs résultats par l'augmentation des teneurs en MAT dans l'herbe produite avec la fertilisation azotée, l'excrétion azotée étant proportionnelle à la quantité d'azote ingérée [41]. Decau *et al.* [8] ont rapporté une augmentation des restitutions au pâturage avec l'augmentation de la fertilisation. Les rejets azotés calculés à l'hectare ont augmenté avec le chargement comme dans l'essai de Delaby *et al.* [11], le niveau du chargement ayant aussi une grande influence sur la quantité des rejets émise par hectare [34].

4.3. Bilan azoté.

Les quantités d'azote fixées par hectare par les légumineuses sont semblables à celles citées par Orr *et al.* [33] (de 30 à 50 kg N fixé/ha/an). D'autres auteurs citent des valeurs de fixation d'azote allant jusqu'à 280 kg N fixé/ha [18]. Dans le présent essai, 1% de trèfle correspondait en moyenne à 3,7 kg d'azote appliqué. D'après Andries *et al.* [1], on peut admettre que 1% de trèfle blanc correspond à une dose d'environ 2 kg N/ha/an. Les sorties d'azote dans le lait calculées en fonction de la teneur en azote du lait et de la production laitière sont conformes à celles rapportées par Farruggia *et al.* [15] et Jarvis [27].

Le bilan de l'azote a été positif dans les trois lots, le lot 0-N présentant un bilan nettement plus faible (38, 115 et 147 kg N/ha/an pour les lots 0-N, M-N et H-N respectivement). Simon *et al.* [38] ont calculé des bilans de 167, 128 et 42 kg N/ha pour des systèmes de production laitière en France avec des applications de fertilisation de 160, 64 et 0 kg N/ha/an dans des systèmes conventionnel, durable et biologique respectivement. Ce type de système avec une suppression de la fertilisation azotée (0-N) permet de réduire les excédents en azote et de valoriser d'autres sources comme la fixation biologique par les légumineuses [39]. Néanmoins, l'augmentation de la fertilisation s'est soldée par une augmentation du bilan azoté.

L'efficacité d'utilisation de l'azote a été nettement augmentée dans le lot 0-N. En considérant que les sorties du système sous forme de viande ont été assez réduites, les valeurs d'efficacité calculées peuvent être comparées à celles citées par Leach et Bax [30] comme normales avec une efficacité de 18% pour les systèmes de production « conventionnels » intensifs et une efficacité de 25% pour des systèmes sans apport d'engrais azoté. Simon *et al.* [38] rapportent des efficacités de l'ordre de 23-32% avec des systèmes conventionnels de production laitière en France et des efficacités allant jusqu'à 81% en systèmes biologiques, sans application de fertilisation azotée et avec une faible complémentation des animaux. L'augmentation de la fertilisation azotée a diminué l'efficacité de l'utilisation de l'azote : les entrées d'azote ont été supérieures tandis que les sorties d'azotes dans le lait et la viande n'ont pas été augmentées. Avec un tel chargement, 27 kg N par application en comparaison avec 40 kg N permettent d'obtenir une meilleure efficacité d'utilisation de l'azote.

5. CONCLUSION

La réduction de la fertilisation azotée de 33% avec un chargement inchangé n'a pas modifié les paramètres phytotechniques, ni les performances animales, mais a amélioré le bilan azoté. On peut donc conclure que des applications de 27 kg N par rapport à celles de 40 kg N après chaque passage permettent une économie de l'azote et une augmentation de l'efficacité d'utilisation sans nuire aux productions animales. Un système sans engrais azoté permet des productions individuelles aussi élevées que des systèmes plus intensifs à condition que le chargement et la gestion du pâturage soient adaptés. De plus, la réduction des rejets azotés par animal et par hectare est d'une importance non négligeable du point de vue de l'impact environnemental.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce travail a été permise grâce au financement de la DG6- Administration Recherche et Développement - Ministère des Classes Moyennes et de l'Agriculture.

6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Andries A., L'appréciation dans la pratique de la valeur agricole des herbages, par l'examen de leur composition botanique. *Revue de l'Agriculture* 12 (1950) 15-19.
- [2] Andries A.P., Carlier L.A., Boucque C.V., Cottyn B.G., Buysse F.X., Production de viande bovine sur des prairies exploitées d'une manière intensive. *Revue de l'Agriculture*, 26 (1973) 1049-1061.
- [3] Béranger C., Micol D., Utilisation de l'herbe par les bovins au pâturage : importance du chargement et du mode d'exploitation. *Fourrages* 85 (1981) 73-93.
- [4] Ciszuck P., Gebregziabher T., Milk urea as an estimate of urine nitrogen of dairy cows and goats. *Acta Agric. Scand.* 44 (1994) 87-95.
- [5] Coombe N.B., Hood A.E.M., Fertilizer-nitrogen: effects on dairy cow health and performance. *Fertilizer Res.* (1980) 157-176.
- [6] Dagnelie P., *Théorie et méthodes statistiques*. Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 1975.
- [7] De Brabander D.L., Botterman S.M., Vanacker J.M., Boucqué Ch.V., La teneur du lait en urée comme indicateur de l'alimentation énergétique et protéique de la vache laitière ainsi que de l'excrétion d'azote. *Renc. Rech. Ruminants* 5 (1998) 228.
- [8] Decau M.L., Delaby L., Roche B., AzoPât : une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières. II- Le flux du système sol – plante. *Fourrages* 151 (1997) 313-330.
- [9] Delaby L., Peyraud J.L., Effet d'une réduction simultanée de la fertilisation azotée et du chargement sur les performances des vaches laitières et la valorisation du pâturage. *Ann. Zootech.* 47 (1998) 17-39.

-
- [10] Delaby L., Decau M.L., Peyraud J.L., Accarie P., AzoPât : une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières. I- Les flux associés à l'animal. *Fourrages* 151 (1997) 297-312.
- [11] Delaby L., Peyraud J.L., Bouttier A., Peccatte J.R., Effet de deux conduites du pâturage sur les performances des vaches laitières, la valorisation des prairies et les restitutions d'azote. *Renc. Rech. Ruminants* 5 (1998) 229.
- [12] Demarquilly C., Fertilisation et qualité du fourrage. *Fourrages* 69 (1977) 61-84.
- [13] Doxey D.L., *Clinical pathology and diagnostic procedures*, Baillière Tindall (Eds), London, UK, 1983.
- [14] Dufrasne I., Gielen M., Limbourg P., Brundseaux C., Istasse L., Production bovine allaitante en Belgique : effets de l'intensification et de la complémentation des veaux au pâturage. *Fourrages* 141 (1995) 91-104.
- [15] Farruggia A., Decau M.L., Vertès F., Delaby L., En prairie, la balance azotée à l'échelle de la parcelle. *Fourrages* 151 (1997) 281-295.
- [16] Fiorelli J.L., Extensification du pâturage continu des vaches laitières. *Fourrages* (AFPF, Eds) 25-26 mars 1992, Paris, France, 68-68.
- [17] Frame J., The effect of strategic fertilizer nitrogen and date of primary harvest on the productivity of a perennial ryegrass/white clover sward. *Grass For. Sci.* 42 (1987) 33-42.
- [18] Frame J., *Improved grassland management*. Farming Press Books, Ipswich, U.K., 1992.
- [19] Frame J., Boyd A.G., The effect of fertilizer nitrogen rate, white clover variety and closeness of cutting on herbage productivity from perennial ryegrass/white clover swards. *Grass and For. Sci.* 42 (1987) 85-96.
- [20] Gordon F.J., The effect of high nitrogen levels and stocking rates on milk output from pasture. *J. Br. Grassld Soc.* 28 (1973) 193-201.

-
- [21] Grenet N., Dedieu B., Dozias D., Hardy A., Micol D., Research on extensification of beef and sheepmeat production in France: Description, preliminary results and prospects, in : Keane M., Pflimlin A. (Eds), Extensification of beef and sheep production on grassland. Occasional publication no. 2. Paris, France, 1995, 27-46.
- [22] Hemingway R.G., The effect of changing patterns of fertilizer applications on the major mineral composition of herbage in relation to the requirements of cattle: a 50-year review. *Anim. Sci.* 69 (1999) 1-18.
- [23] Hoden A., Peyraud J.L., Muller A., Delaby L., Farruggia P., Simplified rotational grazing management of dairy cows : effects of rates of stocking and concentrate. *J. Agr. Sci. Camb.* 116 (1991) 417-428.
- [24] Holmes W., The use of nitrogen in the management of pasture for cattle. *Herbage Abstracts* 38 (1968) 265-276.
- [25] Hood A.E.M, The high nitrogen trial on grassland at Jealott's Hill. *Overdruk uit Stikstof* 83/84 (1976) 395-404.
- [26] INRA. Alimentation des ruminants. Valeur nutritive des aliments. INRA Publications, Versailles, France, 1980.
- [27] Jarvis S.C., Accounting for nutrients in Grassland: challenges and needs, in : Corrall A.J. (Eds), Proceedings of the 33 Occasional Symposium of British Grassland Society. Oxfordshire, UK, 1999, 3-12.
- [28] Jonker J.S., Kohn R.A., Erdman R.A, Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81 (1998) 2681-2692.

-
- [29] King K.R., Stockdale C.R., The effects of stocking rate and nitrogen fertilizer on the productivity of irrigated perennial pasture grazed by dairy cows. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 20 (1980) 537-542.
- [30] Leach K.A., Bax J.A., Efficiency of nitrogen use in dairy systems, in : Corrall A.J. (Eds), *Proceedings of the 33 Occasional Symposium of British Grassland Society*. Oxfordshire, UK, 1999, 69-74.
- [31] Ministère de la Région Wallonne. *L'évolution de l'économie agricole et horticole de la Région Wallonne 1999*. Faculté de Sciences Agronomiques, Gembloux, Belgique, 2000.
- [32] MINITAB, *Minitab reference manual*. Valley Forge Data Tech. Industries, 1989.
- [33] Orr R.J., Parsons A.J., Penning P.D., Sward composition, animal performance and the potential production of grass/white clover swards continuously stocked with sheep. *Grass For. Sci.* 45 (1990) 325-336.
- [34] Peyraud J.L., Astigarraga, L. Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance. *Anim. Feed Sci. Tech.* 72 (1998) 235-259.
- [35] Prins W.H., Limits to nitrogen fertilizer on grassland. *Neth. J. of Agric. Sci.* 32 (1984) 319-321.
- [36] Reid D., Strachan H., The effects of a wide range of nitrogen rates on some chemical constituents of the herbage from perennial ryegrass swards with and without white clover. *J. Agric. Sci. Camb.* 83 (1974) 393-401.
- [37] Roseler D.K., Ferguson J.D., Sniffen C.J., Herrema J., Dietary protein degradability effects on plasma milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 76 (1993) 525-534.

- [38] Simon J.C., Vertès F., Decau M.L., Le Corre L., Les flux d'azote au pâturage. I- Bilans à l'exploitation et lessivage du nitrate sous prairies. *Fourrages* 151 (1997) 249-262.
- [39] Simpson J.R., Stobbs T.H., Nitrogen supply and animal production from pastures, in : Morley (ed), *Grazing Animals*, Elsevier Publisher, 1981, 261-287.
- [40] Vagneur M., *Biochimie de la vache laitière appliquée à la nutrition. La dépêche vétérinaire*, supplément technique (1992) 28.
- [41] Vérité R., Delaby L., Conduite alimentaire et rejets azotés chez la vache laitière. Interrelations avec les performances. *Renc. Rech. Ruminants* 5 (1998) 185-192.

Tableau I. Températures moyennes de l'air et pluviométries mensuelles observées au cours des 6 années d'essai.

		Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.
Température (°C)	1993	15,5	17,1	17,8	16,4	14,1	9,8
	1994	13,3	16,8	22,3	18,9	14,4	10,6
	1995	14,1	15,5	21,5	20,6	14,9	14,4
	1996	11,5	16,8	17,5	18,4	12,7	11,2
	1997	13,4	16,6	17,6	21,3	15,1	10,3
	1998	15,5	17,3	17,2	18,1	15,7	9,8
Moyenne	1962-1992	12,6	15,8	17,5	17,2	14,7	10,5
Précipitation (mm)	1993	45	37	86	46	157	92
	1994	56	56	34	75	95	54
	1995	47	82	31	26	87	90
	1996	54	30	51	164	36	62
	1997	113	111	81	39	40	58
	1998	45	103	45	61	190	144
Moyenne	1962-1992	72	81	88	84	74	72

Comparaison avec la moyenne de 31 années (1962-1992)

Tableau II. Fertilisation azotée, chargement et complément dans des prairies exploitées avec une fertilisation azotée élevée (H-N), réduite (M-N) ou nulle (0-N).

	Traitements		
	H-N	M-N	0-N
Fertilisation azotée (kg N/ha/an)	136	91	0
Chargement (vaches/ha)	3,35 ± 0,07	3,35 ± 0,07	2,51 ± 0,05
Poids vif initial (kg)	538 ± 65	535 ± 74	536 ± 69
Jours de lactation	59 ± 8	60 ± 8	59 ± 11
Production lait. initiale (kg/j)	22,0 ± 2,4	21,8 ± 2,1	22,4 ± 2,5
Urée lait initiale (mg N/l)	103 ± 37	111 ± 44	104 ± 41
Séjour par parcelle (j)	6,5	6,5	7,2
Cons. complément (kg MS/vache)	304	307	303
Cons. ens. maïs (kg MS/vache)	127	127	127

Les valeurs correspondent à la moyenne ± écart type.

Tableau III. Composition botanique des prairies exploitées avec une fertilisation azotée élevée (H-N), réduite (M-N) ou nulle (0-N).

	Traitements		
	H-N	M-N	0-N
Année 1 :			
- Légumineuses	9	12	21
- Graminées	78	78	68
- Diverses	13	10	11
Année 6 :			
- Légumineuses	7	12	14
- Graminées	74	69	61
- Diverses	19	19	25

Tableau IV. Hauteur d'herbe, proportion de refus dans la prairie et composition chimique de l'herbe des prairies exploitées avec une fertilisation azotée élevée (H-N), réduite (M-N) ou nulle (0-N).

	Traitements			Syx
	H-N	M-N	0-N	
Hauteur d'herbe (cm) :				
-Entrée	11,9 a	11,2 ab	10,6 b	3,3
-Sortie	4,3	4,1	4,2	0,9
Refus (%)	10,0	9,2	10,0	5,3
MS (%)	17,1	17,4	17,5	4,3
Composition de la MS :				
Cendres (g/kg MS)	105,6 a	110,1 ab	114,1 b	1,6
MAT (g/kg MS)	201,8	199,8	202,0	3,1
N Non Protéique (%MAT)	22,7	22,7	21,6	3,5
N Soluble (%MAT)	32,4	33,1	31,8	4,9
N Prot. Soluble (%MAT)	9,8	10,5	10,3	2,7
NH3 (%MAT)	2,1	2,2	2,3	0,5
NO3 (%MAT)	9,5 a	8,7 ab	7,2 b	2,4
ENN (g/kg MS)	482,0	484,9	484,6	3,7
ADF (g/kg MS)	218,6	218,4	214,4	1,7
Minéraux :				
K (g/kg MS)	33,10	33,02	32,20	5,4
P (g/kg MS)	3,80	3,89	3,96	0,7
Na (g/kg MS)	0,98 a	0,88 ab	0,80 b	0,3
Mg (g/kg MS)	2,23	2,22	2,27	0,3
Ca (g/kg MS)	6,54 a	7,41 a	8,79 b	1,9

Les moyennes suivies de lettres différentes diffèrent significativement au seuil de 5%.

Tableau V. Production laitière individuelle, composition du lait et urée plasmatique des vaches pâturant dans des prairies exploitées avec une fertilisation azotée élevée (H-N), réduite (M-N) ou nulle (0-N).

	Traitements			Syx
	H-N	M-N	0-N	
Production lait (kg/va/j)	15,4	15,4	15,4	4,6
Taux butyreux (g/kg)	39,1 a	39,0 a	41,1 b	6,7
Taux protéique (g/kg)	33,2	33,3	33,6	3,9
Cellules (milliers/ml)	194	208	156	341
Urée du lait (mg N/l)	198 a	189 ab	175 b	74
Urée plasma. (mg N/l)	166 a	162 ab	151 b	75
Excrétion d'azote (g N/j)	208 a	203 ab	200 b	27
GQM (kg/j)	0,22	0,23	0,24	0,66

Les moyennes suivies de lettres différentes diffèrent significativement au seuil de 5%.

Tableau VI. Bilan annuel par ha de pâturage des prairies exploitées avec une fertilisation azotée élevée (H-N), réduite (M-N) ou nulle (0-N).

	Traitements			Syx
	H-N	M-N	0-N	
Production lait (kg)	8640 a	8669 a	6612 b	505
Production lait 4% (kg)	8430 a	8434 a	6783 b	425
Prod. lait 4% autonome (kg)	5898	5878	4897	1060
Mat. Grasse (kg)	317 a	323 a	255 b	17
Mat. Protéique (kg)	287 a	288 a	222 b	15
Gain de poids (kg)	126	133	106	79
Complément (kg MS)	1018	1029	762	323
UFL complément (ha)	1089	1099	811	444
Journées de pâturage :				
-vaches laitières	562 a	562 a	423 b	12
-total	584 a	584 a	473 b	32
-animaux ajoutés (%)	3,6 a	3,6 a	10,3 b	4,1
Excrétion d'azote (kg)	112 a	109 a	80 b	5

Les moyennes suivies de lettres différentes diffèrent significativement au seuil de 5%.

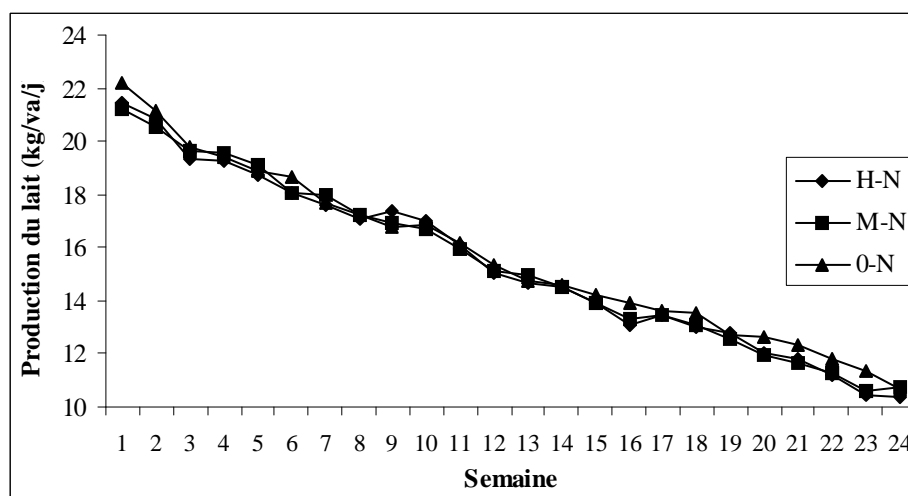
Tableau VII. Bilan azoté en kg N/ha/an des prairies exploitées avec une fertilisation azotée élevée (H-N), réduite (M-N) ou nulle (0-N).

	Traitements		
	H-N	M-N	0-N
Pluie	10	10	10
Fertilisation appliquée	136	91	0
Fixation légumineuses	30	43	53
Azote alimentaire	18	18	13
Entrées	194	162	76
Azote du lait	44	44	35
Azote de la viande	3	3	3
Sorties	47	47	38
Bilan ¹	147	115	38
Efficience (%) ²	24	29	50

1 : Bilan = Entrées - Sorties.

2 : Efficience = (N viande + N lait) / Entrées.

Figure 1. Evolution de la production laitière individuelle journalière moyenne au cours des six années.



ETUDE 3. Less intensified grazing management with growing fattening bulls.

AUTEURS : Francisco DIEGUEZ CAMERONI (1)*, Jean-Luc HORNICK (1), Jean-François CABARAUX (1), Louis ISTASSE (1), Isabelle DUFRASNE (2)

(1) Nutrition Unit, Veterinary Faculty, University of Liege, Belgium

(2) Experimental Station, Veterinary Faculty, University of Liege Belgium

Address:

Experimental Station

Chemin de la ferme 6 B39

4000 Liège Belgique

Tel: 043662373

Fax: 043664733

SUMMARY

Animal performance, composition and quality of meat from Belgian Blue bulls either fattened indoors (FI) or finished indoors after a previous grazing period were studied during six years. During the grazing period, three intensification managements were tested on a permanent pasture conducted as set stocking. The intensification levels were either high (HN: 140kg N ha⁻¹ with 6 bulls ha⁻¹) or moderate with a 33% reduction of nitrogen fertilization but with the same stocking rate (MN: 93 kg N ha⁻¹, 6 bulls ha⁻¹) or low with no nitrogen fertilizer but with a reduced stocking rate (ON, 4 bulls ha⁻¹). The levels of intensification did not affect sward characteristics and chemical composition of the grass. The apparent nitrogen efficiency per ha was larger in the ON plot than in the HN and MN plots (26 vs 14%). The average daily gain of bulls during the grazing season was similar in the three groups at 1.0 kg d⁻¹. The bulls from the FI group were characterized by average daily gains significantly higher than the bulls which were previously grazed and then finished indoors (1.5 vs 1.2 kg d⁻¹; P<0.01). The slaughter weight, the carcass composition, the dressing percentage and most of the meat quality parameters were similar between the treatment groups. The inclusion of a grazing period in the fattening system produced a meat which was darker (lower L*, P<0.01), more red (higher a*, P<0.05) and had a higher content of linolenic acid (C18:3 n-3) than that of the animals fattened indoors.

Key words:

fattening, bulls, grazing, nitrogen fertilizer, stocking rate.

RÉSUMÉ

Désintensification de la conduite de prairies pâturées par de jeunes taurillons.

Les performances zootechniques, la composition et la qualité de la viande de taurillons Blanc Bleu belge engraisés uniquement en stabulation (FI) ou finis en stabulation après une période de pâturage ont été étudiées pendant six années. Pendant la période de pâturage, trois niveaux d'intensification ont été testés dans une prairie permanente. Le système de pâturage continu a été employé. Les niveaux d'intensification ont été soit élevé (HN: 140 kg N·ha⁻¹ ; 6 taureaux·ha⁻¹), soit modéré avec une réduction du 33% de la fertilisation azotée mais avec le même chargement (MN: 93 kg N·ha⁻¹; 6 taureaux·ha⁻¹), soit faible sans engrais azoté et avec un chargement réduit (ON ; 4 taureaux·ha⁻¹). Les traitements n'ont pas affecté les mesures phytotechniques (hauteur de l'herbe, pourcentage de refus) ni les contenus en matière azotée totale et en fibres brutes de l'herbe. L'efficacité d'utilisation d'azote à l'hectare a été plus élevée dans le lot ON par rapport aux lots HN et MN (26 vs 14%). Le gain quotidien moyen des taureaux pendant la période de pâturage a été identique dans les trois lots (1 kg/j). Les taurillons du groupe FI ont présenté des gains quotidiens moyens significativement plus élevés que ceux des taurillons ayant séjourné en prairie et finis en stabulation (1.5 vs 1,2 kg/j ; P<0.01). Le poids d'abattage, la composition de carcasse ainsi que le rendement à l'abattage et les paramètres de qualité de viande ont été semblables entre les traitements. L'inclusion d'un période de pâturage a produit une viande plus foncée et rouge par rapport au lot FI. Les teneurs en C18:3 ont été plus élevées (P<0.05) pour les taurillons du lot HN par rapport à celle du lot FI.

Mots clés :

Engraissement / taurillons / pâturage / fumure azotée / chargement

1.INTRODUCTION

In Belgium, about one third of beef meat is produced by the fattening of young bulls. Most of them are from the Belgian Blue breed [29]. This breed is characterized by large muscular development, a high dressing percentage and a high proportion of first class cuts [23]. The fattening period starts when the animal live weight is about 300 kg. Usually the young growing fattening bulls are maintained indoors but a grazing period could be set up in the growing-fattening scheme, e.g., a first grazing season as calves, a first indoor period as young stock, a second grazing season starting at 300-350 kg and a final finishing period indoors [20].

In the past, the intensification rate in the management of grazing areas, determined by the level of nitrogen fertilization and the stocking rate, was high in order to obtain the maximal yield per hectare. Nitrogen fertilizer induced important effects on grass composition, animal performances and nitrogen losses. In the context of environmental policy, it is of importance to reduce nitrogen excretions by animals along with nitrogen fertilization and risk of leaching. A drastic reduction in nitrogen fertilization up to zero may therefore be suggested. The stocking rate must be adapted in order to maintain high individual performances. The consumer attitude towards beef meat has also changed, extensive production systems being associated with natural products. Furthermore, ethical and nutritional factors encourage consumption of products from farms in which production systems are environment friendly [54].

The inclusion of a grazing period before indoor finishing can influence meat characteristics, such as colour, flavour and fatty acids composition [43, 55]. One objective in beef meat production is to provide consumers with high quality products. Recently attention has been focussed to the use of more natural production system in order to improve the image of meat for the public. So the inclusion of a grazing period in the overall management appears to be more natural and therefore more acceptable.

The present paper reports the impacts on grass characteristics and on young grazing bulls performance of two strategies: a mild reduction in nitrogen fertilizer without reduction of stocking rate on the one hand and, on the other hand, a reduction in stocking rate with no nitrogen application. The animal performance and the meat characteristics of these bulls

previously grazed before an indoor finishing period were also compared with performances of bulls fattened indoors.

2.MATERIAL AND METHODS

2.1.Animals, grazing and fattening management

192 Belgian Blue bulls were used in study over a 6-year period. They were divided each year into 4 groups of 8 animals on the basis of their live weight. One group was fattened indoors (FI). The three other groups were grazed on a pasture located 150 m above sea level. The pasture, previously used for crops and cereals production was seeded in September with 45 kg /ha of *lolium perenne* (70 %), *festuca pratensis* (10%), *Phleum pratense* (10%), *trifolium repens* (10%). It was fertilized with 63 units of P and 63 units of K per ha in March. Grazing started in the beginning of May and ended at the end of September after an average grazing period of 145 days. The spring fertilization and trial was repeated over six consecutive years. The set stocking system was used. A first group was grazed at a high stocking rate and a high nitrogen fertilizer level (high nitrogen: HN). The second group was managed in a grazing system with a high stocking rate but with nitrogen fertilizer level reduced by 33% (medium nitrogen: MN). The third group was grazed at a stocking rate reduced by 33% compared to groups 1 and 2 and no nitrogen fertilizer was applied (0N) (Tab. I). The area of the plots was 1.33 ha for groups HN and MN and 2.0 ha for group 0N so that the stocking rate was 6, 6 and 4 bulls per ha respectively. The animals were offered a mixture of 50% dry sugar beet pulp and 50% rolled barley at a mean rate of 1 kg ·animal⁻¹·day⁻¹. The amount was increased in all grazing groups during some period when grass availability was insufficient to permit animals the remain at pastures. Over the 6-year period, the amount varied from 0.9 to 1.2 kg ·animal⁻¹·day⁻¹ over the grazing season.

Ammonium chloride – 27% N – was used as nitrogen fertilizer and spread in different fractions at the same dates in plots HN and MN. Rainfall and average daily temperature were recorded in a station from the Royal Institute for Meteorological Weather Forecast located close the pasture. After the grazing season, the animals in their respective groups were housed for finishing in a pen partially bedded with straw as the FI group.

All groups received a fattening diet made of 41,5% of dried sugar beet pulp, 9% barley, 9% maize, 9% spelt, 9% middlings, 9% soya bean meal, 9% linseed meal, 4% molasses and 0,5% minerals and vitamins. A transition period of 10 days was managed during which the concentrate diet was gradually increased to reach *ad libitum* feeding. The animals were slaughtered according to the fattening state estimated by palpation of the tail head, loin and rib area. This selection was based on an individual animal. The degree of fatness required for the slaughter was close to 4.5 (scale from 0 , very lean, to 5, very fat).

2.2.Measurements

2.2.1.Pasture

Grass samples were obtained every two weeks with scissors at 1 cm from ground, a sample corresponding to 10-15 handfuls taken at random. The chemical composition of grass was determined on the dried samples according to official procedures [3]. The solubility of the nitrogen fractions was measured by extraction in an artificial saliva and precipitation with trichloroacetic acid. Grass height was recorded in the presence of the animals every two weeks with a 30 x 30 cm aluminium settling plate instrument with a pressure of 2 kg/m²; 100 measures being obtained per ha. Herbage refusals were estimated every two weeks from the measurements of grass height: refusals were visualised and noted by the operator during the measurements. Botanical composition was determined during the final year by a technique adapted from the method of the frequencies [2]. Grass yield was not recorded in the present trial but, for calculation of nitrogen balance, data were obtained from neighbouring pastures grazed by dairy cows and managed in a similar manner [10]. In these pastures, grass yield was estimated for each of the systems (HN, MN and ON) in two 5 m² plots out of reach of the cattle, by recording grass production cut alternatively every two weeks with a mowing machine at 4 cm height.

2.2.2. Animals

At the beginning of grazing, the animals weighed on average 294 kg and were 9-10 months old. Live weights were recorded every 28 days and before slaughter (final weight). They were also weighed at slaughter (slaughter weight). The total live weight gain was calculated and expressed per ha. Daily concentrate intake was recorded per group and feed conversion ratio calculated. The number of grazing days per ha was calculated from the stocking rate and the length of grazing season.

At slaughter, hot carcass weight was recorded and pH and temperature were measured in the *Longissimus thoracis* muscle on both sides 1, 2, 4 and 48 hours *postmortem* using a Portamess 751 Knick pH-meter (Knick GmbH & Co, Berlin, Germany) with an Ingold “penetration” pH-electrode (Ingold AG, Urdorf, Switzerland). Two days after slaughter, the 8th rib was removed from the carcass. It was dissected to separate lean meat, fat and connective tissue and bones in order to assess carcass composition [22]. A pair of 2.5 cm thick cuts were sampled from the *Longissimus thoracis*. In the first one and after 1.5h blooming time, the colour was objectively measured with the Hunterlab Labscan II device according to CIE L* a* b*. There were 5 measures per sample distributed on the surface. The second 2.5 cm –thick cut was heated in an open plastic bag in a water bath for 50 min at 75°C. After heating, the bags were cooled in cold tap water to room temperature. They were then drained and cuts were mapped gently dry with paper tissue. The difference between raw and heated weights was recorded as cooking loss and expressed as a proportion of raw weight. The tenderness expressed by its opposite, the toughness, was estimated by the measurement of the Warner-Bratzler peak shear force (WBPSF) with a Lloyd LD5K testing machine (Lloyd Instruments Ltd, Fareham, England) perpendicular to the muscular fibers direction on ten 1.25 cm – diameter cores, obtained from the heated cuts. Another sample of *Longissimus thoracis* was freeze-dried and ground for chemical composition determination. The dry matter, ash, ether extract and crude protein of meat samples were determined according to official procedures [3]. For the bulls of groups FI and HN during the second year, the lipids from intramuscular fat samples were extracted and saponified as described by Ter Meulen *et al.* [51] and the intramuscular fatty acid composition were determined by gas chromatography using a Chrompack CP 9001 chromatograph (Middleburg, The Netherlands) fitted with a capillary column DB-225 (J&W, Folsom, USA). The C17:0 was used as internal standard.

2.3. Statistical analysis and assessment of nitrogen balance

The statistical analysis was carried out using the “general linear model” procedure of MINITAB [38]. The effects of treatment and year were considered as fixed. For measures performed on individual animals, the following model was used:

$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijn}$ where μ = overall mean, α_i = effect of treatment, β_j = effect of year, $\alpha\beta_{ij}$ = interaction between treatment and year effects, and ε_{ijn} = random residual effects associated with the n observations ($\sim N[0, \sigma]$).

The model $Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ijn}$ was used for measures performed on groups used as experimental unit or production data expressed on a per ha basis. When differences were observed between treatments, the comparisons were made using the method of orthogonal contrasts [5], in order to analyse the effect of the presence or the absence of nitrogen fertilizer (ON vs HN and MN) and the effect of the nitrogen fertilizer level (HN vs. MN) at a similar stocking rate. The fatty acids data were compared by Student-t-test.

In the calculation of nitrogen balance, the nitrogen input from rainfall was estimated at 10 kg N/ha/ year according to the figures reported by Simpson and Stobbs [48] and Decau *et al.* [7]. Nitrogen fixation by the legumes was calculated using the relationship proposed by Farruggia *et al.* [15]:

Nitrogen fixed by legumes (kg/ha) = Biomass produced by the pasture (kg DM/ha) x PC (%) x NPC (%) x fixation (%) in which PC was the percentage of clover, NPC the nitrogen content in the clover (0.035) and fixation the average nitrogen fixation by clover (0.90).

Nitrogen fixed as meat by the grazing animals was calculated as the total live weight gain by the animals during the whole grazing season (kg/ha/year) x the amount of nitrogen fixed in one kg live weight, 0.032 [6]. Nitrogen content of the concentrate was estimated using published tables [28]. The apparent efficiency of nitrogen utilisation in a grazing system was calculated as the ratio between nitrogen output and total nitrogen input to the system [33].

3.RESULTS

3.1 Grass yield and characteristics

Grass yield was 11.7, 11.5 and 9.6 tons of dry matter per ha in the HN, MN and ON groups respectively (Tab. II). The percentage of legumes was the lowest in HN group while the percentage of gramineae was the highest. The percentage of undefined plants was similar in the 3 treatments.

Grass height was the highest – although the difference was not significant – in the ON group as compared with the two other treatments (8.6 vs. 6.6 cm; $P>0.05$). The refusal percentage was slightly larger in the MN and ON groups (12.7 vs. 10.4%). The ADF, CP and nitrogen fraction contents were not significantly different. The mineral contents of grass varied from one year to another and there were no interactions between years and treatments. The phosphorus, potassium and magnesium contents did not vary between treatments. The sodium content were significantly higher in the HN group while calcium was highest in the ON group.

3.2. Animal performance at grass and nitrogen balance

The average daily gain during the grazing season was similar in the three groups (1 kg/d; $P>0.05$) (Tab.III). The live weight gains per ha was larger in the HN and MN groups than in the ON group (899 kg/ha in the plots with nitrogen fertilizer and 629 kg/ha in the ON group; $P<0.01$). The concentrate intake during the grazing season was 157 kg /bull. The number of grazing days was significantly higher in MN and HN than in the ON group (870 vs 580 d.ha⁻¹: $p<0.001$)

The nitrogen outputs as meat were lower in the ON group as compared with the two other groups (20 vs. 28 kg N·ha⁻¹ year⁻¹) (Tab. IV). The nitrogen balance was positive in the three groups, the ON group being much lower (58, 155 and 192 kg N·ha⁻¹·year⁻¹ in the ON, MN and HN groups, respectively). Apparent efficiency of nitrogen utilisation was greatly improved in the ON plot as compared with the plots with nitrogen fertilizer (26 % vs. 14%).

3.3. Finishing performance, slaughter, meat composition and quality

The FI bulls started the fattening at the beginning of the grazing season. Their initial live weight was 312 kg. The duration of the indoor finishing (96 days) for the bulls previously grazed was similar between groups and was shorter ($P < 0.05$) than that in FI group (163 days) (Tab. V). The duration was however extended when both periods – grazing and finishing – were considered (241 vs 163 days). Fig. 1 gives the evolution of the live weight. During the grazing period a more even growth curve was observed with the FI group while a period of reduced growth was recorded at the end of grazing and the beginning of finishing. The average daily gain was similar in the three groups $\sim 1 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$. During the indoor finishing, the average daily gain was significantly higher than during the grazing period ($P < 0.001$) and similar in the three groups at $1.32 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$. Such live weight gain was, however, significantly lower ($P < 0.05$) than that recorded in the FI group ($1.50 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$). Intermediate data at $1.16 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ were obtained when both periods were considered.

The total concentrate intake during the finishing period was calculated on a group basis. It was similar at 850 kg in the 3 groups of bulls previously grazed. It was significantly lower ($P < 0.001$) than 1361 kg recorded in the FI group. By contrast, there were no differences when feed intake was expressed on a daily basis. The feed conversion ratio was significantly in favour of the FI group at $5.77 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ vs $6.97 \text{ kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($P < 0.05$) for the groups previously grazed.

The slaughter and carcass weights were similar between treatments. However the weights in the FI group tended to be lower compared to the animals previously grazed (548 kg vs 569 kg for slaughter weight and 342 vs 353 kg for carcass weight). The dressing percentage calculated as the ratio of carcass weight on slaughter weight was similar between treatments (62%; $P > 0.05$). The composition of the carcass (percentage of muscle and connective and adipose tissue) was equal between treatments (73% and 13% respectively). The bone percentage was significantly lower in FI group than in MN and 0 N groups (12,8 vs 13,5%; $P < 0.05$) but no significant difference in bone percentage was noted between the groups previously grazed (average of 13,3%).

The chemical composition of meat was not affected by the treatments. The average crude protein and ether extract contents were 89.7 and 3.5% DM respectively (Table VI). The carcass temperatures and pH were similar in the four groups. Brightness (L^*) was significantly higher for the FI group compared to the 0 N, MN and HN groups ($P < 0.01$). a^* was the lowest in the FI group (17.0 vs 18.3 for the MN group; $P < 0.05$). b^* was not affected by the treatments. The drip losses were similar, but the cooking losses were the lowest in the FI group (28.3 vs 30.5 for the 2/3 N group; $P < 0.05$). The Warner Bratzler peak shear force was not different between treatments.

The fatty acid composition of intramuscular fat of the HN and FI groups are shown in table VII. The major fatty acids were C16:0 (26.5%), C18:0 (19.3%) and C18:1 (34.2%). In HN group the proportions of C18:1 and C18:3 fatty acids were higher (36.4 vs 31.9%, $P > 0.05$, 2.5 vs 1.5%; $P < 0.05$) than in the FI group.

4. DISCUSSION

4.1. Vegetal aspects

Average grass heights of 6.6 cm observed in the plots with nitrogen fertilizer were in line with the data by Wright and Whyte [57] and Hodgson [25]. Grass production, measured in small plots protected from grazing, increased with the level of fertilization as is commonly observed [8]. The response to nitrogen fertilization in terms of grass yield was 21 kg DM·kg⁻¹ between ON and MN and 6.5 kg DM·kg⁻¹ N between MN and HN. The lower primary production in ON group implied that the stocking rate had to be modified. According to Holmes [26] and Prins [42] respectively, responses varying between 15 to 7.5 kg could be expected with nitrogen application of 200 to 400 kg·ha⁻¹. With a lower rate of nitrogen application (80 kg N/ha), Frame [18] reported responses of 20 kg DM per kg N while Whitehead [53] reported response from 20-30 kg DM·kg⁻¹ N until application of 250-400 kg·ha⁻¹. Lambert [32] reported that response for spring application of N in pastures of rye grass was maximum up to 80 kg N ha⁻¹ and was much lower with application above 140 kg N ha⁻¹. In the present study, the additional production on HN compared to MN was low. It appeared thus that the maximal response was reached in MN plots.

The reduction of white clover proportion in pastures fertilized with nitrogen is currently described and is associated with a better use of mineral nitrogen by the gramineae and a reduction of nitrogen fixation by the clover [17]. The botanical composition did not differ to a large extent between 0N and MN. This lack of effect could be explained by a lower grass height and a higher stocking rate in the MN group compared with 0N. At higher stocking rates, the development and the branching of clover were favoured [17]. The fertilization effects on the clover were weaker when defoliation of the pasture is frequent [19].

The dry matter content of grass was not affected by the treatments. The opposite was noted by Demarquilly [9] in which nitrogen fertilization reduced the dry matter content. The lack of difference observed in the present study was previously reported in another experiment in which dairy cows were rotationally grazed according to a similar experimental design [10].

There were no differences between treatments for the contents of crude protein, soluble nitrogen, soluble non protein nitrogen, soluble protein nitrogen, ammonia and nitrates. It is usually reported that nitrogen fertilization increases the crude protein content of grass [41]. The larger proportion of white clover in the 0N group as compared to HN group could explain the lack of significant differences in terms of crude protein content even if nitrogen fertilization was higher in the other group [31].

The potassium and phosphorus contents were in the range of data reported by Hemingway [24]. In the HN group, the smaller calcium contents were associated with the reduction of white clover when nitrogen fertilizer was increased [24]. The increase in sodium content with increase in mineral nitrogen fertilizer was reported by Reid and Strachan [45]. On the whole, it appeared that the different managements in the pastures grazed by the growing bulls induced only rather small differences in terms of sward characteristics.

4.2. Performances of grazed bulls

The increase of nitrogen fertilisation in the HN and MN groups allowed an improvement of the number of grazing days. Micol *et al.* [37] reported an average increase of 355 grazing days per ha between two nitrogen fertilization levels (33 vs. 311 kg N/ha) and an

improvement of 235 grazing days per ha by an increase of the stocking rate from 4.9 to 6.3 animals/ha. Steen [49] also reported a significant improvement in the number of grazing days with the increase of the stocking rate.

The average daily gains observed in the present trial were in agreement with those reported by Dufrasne *et al.* [12] and Raskin *et al.* [44] with Belgian Blue cattle at grass. The effect of the stocking rate is normally inversely related to the average daily gain if there is no increase in the grass availability obtained, for example, by nitrogen fertilization [46]. However in the present study, the one third reduction in nitrogen fertilizer did not affect the individual performance, grass height being not reduced by the reduction in nitrogen fertilizer. Such an observation implied that the bulls of the MN group were offered a similar amount of grass as the animals of the HN groups. Without nitrogen fertilizer, and with an adapted stocking rate, the individual animal performances were similar to those in the more intensively managed groups. Such results were in line with those of Grenet *et al.* [21] and Keane and Allen [31] who compared two intensification levels with grazing bulls and reported similar live weight gains in the groups.

4.3. Nitrogen balance

The amounts of nitrogen fixed by the legumes was similar to that reported by Orr *et al.* [40]; it varied from 30 to 60 kg fixed N·ha⁻¹·year⁻¹, but according to Frame [17], the amount of fixed nitrogen could be as high as 280 kg fixed N·ha⁻¹. The low nitrogen output in terms of meat in the 0N group was the result of the lower stocking rate in that group. Such results were in agreement with those of Farruggia *et al.* [15] and of Stevens [50]. The nitrogen not exported as animal products was either stored in the soil or lost as leaching or volatilization.

The nitrogen balances were comparable to those published by Farruggia *et al.* [15], who reported positive nitrogen balances in pastures grazed by growing cattle. Usually, nitrogen balance is proportional to the inputs of the system, and particularly to the amounts of nitrogen fertilizers. However excessive positive nitrogen balances along with nitrogen restitutions in the pasture are influenced mainly by the number of grazing days [58, 15].

The nitrogen utilization efficiency was low as compared with dairy cow systems and was in agreement with data reported in the literature [30,50]. The system with no nitrogen induced an improvement in efficiency. Such results agreed with those reported by Stevens [50] who observed a reduction of utilization efficiency from 14.8% to 9.1% when nitrogen inputs increased from 108 to 308 kg N·ha⁻¹.

4.4.Fattening performance

The live weight gains during the finishing period of the bulls which were previously grazed were higher than during the grazing period. Such a compensatory growth with grazed cattle when they were finished indoors was already reported by Dufrasne *et al.* [12] and Schlegel *et al.* [46]. The animal performance for the overall period was to some extent lower than that of the FI group. The main differences were a longer fattening period, lower daily live weight gains and larger total feed intakes. Schwarz *et al.* [47] observed also higher average daily live weight gains and a reduction of the total finishing period in heifers fattened indoors compared to animals fattened in pasture (1 kg/d vs 0.66 kg/d). Myers *et al.* [39] noted lower daily live weight gains for growing bulls in pasture compared to bulls fattened indoors (0.48 vs 1.33 kg/j respectively), but the daily live weight gains during the indoor finishing were higher for the groups which were grazed (1.40 vs 1.28 kg/j). In the present study, compensation was partial since the animals which grazed did not reach the live weight of the FI animals at the same age. Three reasons may help explain the lower performance of bulls which grazed [12]. First, the bulls grazed and then finished indoors had to adapt twice to new regimes while only one transition period was necessary for the FI group. During these adaptation periods the live weight gain was low. Secondly, the energy requirements for walking with cattle at grass is, according to ARC [1], proportionately about 15% of the maintenance requirements. Such expenses would be considerably lower for housed animals.

Finally, grass was not always available in sufficient quantity and quality owing to climate and rainfall. By contrast, concentrate food was offered ad libitum. The conditions in terms of management, environment and diet availability and type were thus more favourable for the FI group. As the indoor period was shortened for groups which were grazed, the grazing period reduced the concentrate requirement by 505 kg, but increased feed conversion efficiency. The

grazing bulls ate 157 kg of concentrate but this concentrate was cheaper than the concentrate offered during the fattening. A higher feed conversion ratio was also observed by Myers et al. [39] and Mader et al. [34] for indoor animals. Feed conversion ratios of the three grazed groups did not differ significantly as observed by Schlegel et al. [46] with bulls which previously grazed at two stocking rates on an alfalfa pasture.

4.5. Slaughter performance and meat quality.

Slaughter and carcass weights, dressing percentage and composition of carcass were similar between the treatment groups, the slaughter being decided according to the finishing state. The tendency for a lower slaughter weight in the FI group suggested that the fattening was faster in relation with higher average daily gains. The contents of ether extract and crude protein in this study were in agreement with those published by Van Eenaeme *et al.* [52] for Belgian Blue bulls; one of the characteristics of this breed being the production of a very lean meat. Contents of dry matter, crude protein and ether extract were not different between treatments. Similarly with bulls finished on pasture with two levels of intensification, Keane and Allen [31] did not find any effects of nitrogen fertilisation or stocking rate on the chemical composition of the meat. The results found in this study have to be linked to the common finishing period in which the diet and the housing conditions were the same. This common finishing period probably reduced levelled any potential differences due to the grazing period.

The decline in carcass pH is due to the normal decrease in glycogen reserves, no significant difference being observed between the treatments. Similarly, Ender *et al.* [14] did not observe differences in meat pH of bulls finished indoors, on pasture or indoors after a grazing period. Keane and Allen [31] did not report differences in meat pH of bulls finished in pasture with different stocking rates. On the other hand, Schwarz *et al.* [47] observed a reduction of the pH values 48 hours postmortem in heifers fattened indoors compared to a finishing on pastures: the values of the group previously grazed and finished indoors being intermediate. The meat in the FI group was the brightest as indicated by a significantly higher L* and was less red (lowest a*) There was no difference for b*. Significant correlations were reported between brightness (L*) and fattening duration ($r = 21.5\%$; $P < 0.05$) and between the slaughter weight

and the red colour (a^*) ($r = 33.6\%$; $P < 0.05$). Priolo *et al.* [43] and Schwarz *et al.* [47] also observed higher L^* values in meat of bulls fattened indoors compared to the animals finished on pastures. These last authors associated the meat brightness with animal age, the animals which were grazed being older due to a longer fattening period. This may also explain the small differences noted in this study. Furthermore, it was probable that pigments such as carotene were responsible of the increase of darkness as shown by Forrest [16]. Schwarz *et al.* [47] found that the fat of animals which were grazed was yellower due to the carotene pigments, this effect being less extended during the indoor finishing period. In this experiment, the identical diet offered during the indoor finishing period probably also levelled the differences.

The drip losses did not differ between treatments, the cooking losses being however lower in the FI group. Dufasne *et al.* [12] and Schwarz *et al.* [47] observed similar results but Myers *et al.* [39] and Keane and Allen [31] did not note any differences between animals which were fattened indoors or grazed. The Warner Bratzler peak shear force of Longissimus Thoracis muscle at 38.3 N observed in this experiment was in line with the results published by Clinquart *et al.* [4] for bulls of the Belgian Blue breed. In this experiment, the Warner Bratzler peak shear force did not differ between treatments. These results were in agreement with those published by Schwarz *et al.* [47], Ender *et al.* [14] and Keane and Allen [31].

The composition of the intramuscular fatty acids followed the same pattern as that reported in the review of Wood *et al.* [54] for marketed meat. The present C18:1 concentration tended to be higher for bulls which were grazed. A similar effect was also observed by Mandell *et al.* [35] with steers finished indoors on a cereal diet after a growing period on grass silage compared to a control group fattened indoors on a cereal diet. The slight reduction of the concentration of C18:2 and the significant increase of the concentration in C18:3 in the intramuscular fat of bulls previously grazed were in agreement with the observations of Wood *et al.* [56], Marmer *et al.* [36] and Hornick *et al.* [27]. The determination of the concentration in C18:3 could be used to trace the fattening management when a grazing period is included. The duration of the finishing period, during which all bulls received an identical diet, was probably sufficiently short so that the carry over effect of grazing was still present in order to influence the composition in fatty acids of the meat, grass being high in linolenic acid [55].

The ratio unsaturated fatty acids/saturated fatty acids in meat was increased from 1.08 in FI group to 1.17 in HN group; such result is of interest for human health [13].

5.CONCLUSION

A 33% reduction in nitrogen fertilizer at unchanged stocking rate did not affect either grass characteristics or animal performances. It may be concluded applying 27 compared to 40 kg N /ha at each spreading permitted nitrogen saving and tended to increase nitrogen utilization efficiency without any effect on animal performances.

A grazing system with no nitrogen fertilizer resulted in similar individual animal performances as high as these in more intensive systems if the stocking rate is adapted. Such a management appeared more like an extensive systems allowing a more environmentally friendly production with reduced excess nitrogen.

The inclusion of a grazing period before an indoor finishing induced lower daily live weight gains and a longer fattening period as compared to animals fattened indoors. The total live weight gain in pasture was high at 150 kg per animal with a 26% reduction in concentrate consumption. Furthermore during the grazing period, a reduction or a suppression of nitrogen fertilisation can be also considered. This alternative to an indoor fattening thus fully agrees with the current policy of the extensification of bovine production. The inclusion of a grazing period changed the color of meat, but not tenderness. The higher content of C18:3 n-3 and lower SFA proportions could be of interest for human health and traceability of the diet.

REFERENCES

1. Agricultural Research Council. The nutrient requirements of ruminant livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Slough. 1990.
2. Andries A., L'appréciation dans la pratique de la valeur agricole des herbages, par l'examen de leur composition botanique. Rev. Agric.-Brussels 12 (1950) 15-19.
3. AOAC. Official methods of analysis (12th Ed.). Association of Official Analytical Chemists, H.Horwitz ed. Washington DC, 1975.
4. Clinquart A., Van Eenaeme C., Van Vooren T., Van Hoof J., Hornick J.L., Istasse L., Meat quality in relation to breed (Belgian Blue vs Holstein) and conformation (Double muscled vs Dual purpose type). Sci. Alim. 14 (1994) 403-409.
5. Dagnelie P., Théorie et méthodes statistiques. Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 1975.
6. De Campeneere S., Fiems L.O., De Pape M., Vanacker J.M., Boucqué C.V., Compositional data on Belgian Blue double-muscled bulls. Anim. Res., 50 (2001) 43-55.
7. Decau M.L., Delaby L., Roche B., Azopât : une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières. II- Le flux du système sol-plante, Fourrages, 151 (1997) 297-312.
8. Delaby L., Peyraud J.L., Effet d'une réduction simultanée de la fertilisation azotée et du chargement sur les performances des vaches laitières et la valorisation du pâturage. Ann. Zootech. 47 (1998) 17-39.
9. Demarquilly C., Fertilisation et qualité du fourrage. Fourrages 69 (1977) 61-84.
10. Dieguez Camerón F., Hornick J-L., De Behr V., Istasse L., Dufrasne I., Réduction et absence de fertilisation azotée sur des prairies pâturées par des vaches laitières. Anim. Res. 50 (2001) 299-314.
11. Dufrasne I., Gielen M., Limbourg P., Brundseaux C., Istasse L., Production bovine allaitante en Belgique : effets de l'intensification et de la complémentation des veaux au pâturage. Fourrages 141 (1995) 91-104.
12. Dufrasne I., Gielen M., Limbourg P., Van Eenaeme, C., Istasse, L., Effect of a grazing period on performance of finishing bulls: comparison with an indoor finishing system. Anim. Sci. 60 (1995) 75-80.
13. Dupont J, White PJ, Feldman EB. Saturated and hydrogenated fats in food in relation to health. J. Am. Coll. Nutr. 10 (1991) 577-592.

14. Ender K., Papstein H.J., Nurnberg K., Wegner J., Muscle and fat related characteristics of grazing steers and lambs in extensive systems, in: Fiems L.O., De Campeneere S. (eds.), Effects of extensification on animal performance, carcass composition and product quality, Proceedings of a workshop, may 16-17, Melle-Gontrode, Belgium. 1997, 229-237.
15. Farruggia A., Decau M.L., Vertes F., Delaby L., En prairie, la balance azotée à l'échelle de la parcelle. Fourrages 151 (1997) 281-295.
16. Forrest R.J., A comparison of the growth and carcass characteristics of steers reared on pasture and finished for varying periods on corn or grass silage. Can J. Anim. Sci. 62 (1982) 1079-1088.
17. Frame J., Improved grassland management. Farming Press Books, Ipswich, U.K., 1992.
18. Frame J., The effect of strategic fertilizer nitrogen and date of primary harvest on the productivity of a perennial ryegrass/white clover sward. Grass and Forage Sci. 42 (1987) 33-42.
19. Frame. J., Boyd A.G., The effect of fertilizer nitrogen rate, white clover variety and closeness of cutting on herbage productivity from perennial ryegrass/white clover swards. Grass and Forage Sci. 42 (1987) 85-96.
20. Gielen M., Dufrasne I., Limbourg P., Diez M., Istasse L., Effects of stocking rate on animal performance and profit with grazing bulls finished indoors. 44th Annual Meeting of the European Association for Animal Production, 1993, p. 110.
21. Grenet N., Micol D., Haurez P., Dozias D., Pflimlin A., Production of high quality beef under extensive conditions in France, in: Fiems L.O., De Campeneere S. (eds.), Effects of extensification on animal performance, carcass composition and product quality, Proceedings of a workshop, may 16-17, Melle-Gontrode, Belgium, 1997, pp. 248-267.
22. Hanset R., Bienfait J.M., Jandrin M., Nicks B., Leroy P., L'intérêt d'un segment monocostal dans l'appréciation des carcasses des jeunes taureaux. Ann. Méd. Vét., 122 (1978) 37-44.
23. Hanset R., Detal G., Michaux C., The Belgian breed in pure and crossbreeding: growth and carcass characteristics. Revue de l'Agriculture 42 (1989) 255-264.
24. Hemingway R.G., The effect of changing patterns of fertilizer applications on the major mineral composition of herbage in relation to the requirements of cattle: a 50-year review. Animal Sci. 69 (1999) 1-18.

25. Hodgson J., Grazing Management, in: Whittemore C., Simpson K. (eds.) Longman Group, UK, 1990.
26. Holmes W., The use of nitrogen in the management of pasture for cattle. *Herbage Abstracts* 38 (1968) 265-276.
27. Hornick J.L., Raskin P., Clinquart A., Dufrasne I., Van Eenaeme C., Istasse L., Compensatory growth in Belgian Blue bulls previously grazed at two stocking rates: animal performance and meat characteristics. *Anim. Sci.* 67 (1998) 427-434.
28. INRA, Alimentation des ruminants. Valeur nutritive des aliments. INRA Publications, Versailles, France, 1980.
29. INS - Institut National de Statistiques, Statistiques agricoles. Ministère des Affaires Economiques, 1999.
30. Jarvis S.C., Hatch D.J., Roberts D.H., The effects of grassland management on nitrogen losses from grazed swards through ammonia volatilisation: The relationship to excretal N returns from cattle. *J. Agr. Sci. Camb.* 112 (1989) 205-216.
31. Keane M.G., Allen P., Effects of pasture fertiliser N level on herbage composition, animal performance and on carcass and meat quality traits. *Livestock Prod. Sci.* 61 (1999) 233-244.
32. Lambert R., Influence du climat et de la disponibilité en azote sur la croissance printanière du ray-grass anglais. PhD Thesis Université Catholique Louvain Belgium, pp90.
33. Leach K.A., Bax J.A, Efficiency of nitrogen use in dairy systems, in: Corrall A.J. (ed), *Proceedings of the 33th Occasional Symposium of British Grassland Society.* Oxfordshire, U.K., 1999, pp. 69-74.
34. Mader T.L., Turgeon O.A., Klopfenstein T.J., Brink D.R., Oltjen R.R., Effects of previous nutrition, feedlot regimen and protein level on feedlot performance of beef cattle. *J. Anim. Sci.* 67 (1989) 318-328.
35. Mandell I.B., Buchanan-Smith J.G., Campbell C.P., Effects of forage vs. grain feeding on carcass characteristics, fatty acid composition and beef quality in Limousin-cross steers when time on feed is controlled. *J. Anim. Sci.* 76 (1998) 2619-2630.
36. Marmer W.N., Maxwell R.J., Williams J.E., Effects of dietary regimen and tissue site on bovine fatty acid profiles. *J. Anim. Sci.* 59 (1984) 109-121.

37. Micol D., Peccatte J.R., Muller A., Croissance des bovins en relation avec différentes modalités d'exploitation du pâturage. Fourrages, Supplément des Journées AFPP. Paris, France, 1992, pp. 67-68.
38. Minitab, Minitab reference manual. Valley Forge Data Tech. Industries, 1989, pp. 349.
39. Myers S.E., Faulkner D.B., Nash T.G., Berger L.L., Parrett D.F., Mc Keith F.K., Performance and carcass traits of early-weaned steers receiving either a pasture growing period or a finishing diet at weaning. *J. Anim. Sci.* 77 (1999) 311-322.
40. Orr R.J., Parsons A.J., Penning P.D., Sward composition, animal performance and the potential production of grass/white clover swards continuously stocked with sheep. *Grass For. Sci.* 45 (1990) 325-336.
41. Peyraud J.L., Astigarraga L., Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance. *Animal Feed Sci. Tech.* 72 (1998) 235-259.
42. Prins W.H., Limits to nitrogen fertilizer on grassland. *Neth. J. of Agric. Sci.* 32 (1984) 319-321.
43. Priolo A., Micol D., Agabriel J. : Effets d'une alimentation à base d'herbe sur la couleur et la flaveur des viandes bovines. *Renc. Rech. Rumin.* (2000) 7, 267.
44. Raskin P., Clinquart A., Dufrasne I., Ledent A., Istasse L., Less intensive meat production with belgian blue bulls: interest of a grazing period and different levels of nitrogen fertilizer, in: Fiems L.O., De Campeneere S. (eds.), Effects of extensification on animal performance, carcass composition and product quality, Proceedings of a workshop, may 16-17, Melle-Gontrode, Belgium, 1997, pp. 102-107.
45. Reid D., Strachan H., The effects of a wide range of nitrogen rates on some chemical constituents of the herbage from perennial ryegrass swards with and without white clover. *J. Agric. Sci. Camb.* 83 (1974) 393-401.
46. Schlegel M.L., Wachenheim C.J., Benson M.E., Black J.R., Moline W.J., Ritchie H.D., Schwab G.D., Rust S.R., Grazing methods and stocking rates for direct-seed alfalfa pastures: I. Plant productivity and animal performance. *J. Anim. Sci.* 78 (2000) 2192-2201.
47. Schwarz F.J., Augustini C., Kirchgessner M., Effect of grazing or indoor feeding on animal performance and carcass and meat quality of Simmental or Angus x Simmental heifers, in: Fiems L.O., De Campeneere S. (eds.), Effects of extensification on animal

- performance, carcass composition and product quality, Proceedings of a workshop, may 16-17, Melle-Gontrode, Belgium, 1997, pp. 238-247.
48. Simpson J.R., Stobbs T.H., Nitrogen supply and animal production from pastures, in: Morley (ed) *Grazing Animals*, Elseviers Published, 1981.
 49. Steen R.W.J., A comparison of pasture grazing and storage feeding, and the effect of sward surface height and concentrate supplementation from 5 to 10 months of age on the lifetime performance and carcass composition of bulls. *Anim. Prod.* 58 (1994) 209-219.
 50. Stevens R.J., Losses to water and air, in A. Corral (ed.) *Accounting for nutrients: a challenge for grassland farmers in the 21st century*. Occasional Symposium 33 of British Grassland Society. Oxfordshire, UK. 1999.
 51. Ter Meulen, V.U., Nordbeck, H. et Molnar, S., Untersuchungen zur Morphologie und Physiologie des perirenal Fettgewebes beim Kalb und der Einfluss der Umgebungstemperatur auf seine Funktion. 2. Mitteilung. Methodik und Versuchsergebnisse (Versuch I und II). *Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde*, 35, 1975, 144-163.
 52. Van Eenaeme C., Minet V., Raskin P., Dufrasne I., Clinquart A., Hornick J.L., Diez M., Mayombo P., Baldwin P., Istasse L., Technical data on Belgian Blue double muscled bulls. In: Ministry of Small Entreprises, Traders and Agriculture – Recherche and Development, Ministry of Région Wallonne- General Directorate of Agriculture, University of Liège – Faculty of Veterinary Medicine – Nutrition (Eds) *Belgian Blue bulls. Their management for growing and finishing. An assessment of their performance and of carcass and meat quality*. Presses de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège : Liège, 1997, 23-40.
 53. Whitehead D.C., *Grassland nitrogen*. CAB International, Wallingford, 1955, pp. 397.
 54. Wood J.D., Enser M., Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants improving meat quality. *British J. Nutr.* 78 (1997) S49-S60.
 55. Wood J.D., Enser M., Fisher A.V., Nute G.R., Richardson R.I., Sheard P.R., Manipulating meat quality and composition. *Proc. Nutr. Soc.* 58 (1999) 363-370.
 56. Wood J.D., Fisher A.V., Carcass and meat quality: definitions and measurements, in: Fiems L.O., De Campeneere S. (eds.), *Effects of extensification on animal performance, carcass composition and product quality*, Proceedings of a workshop, may 16-17, Melle-Gontrode, Belgium, 1997, pp. 30-38.

57. Wright I.A., Whyte T.K., Effects of sward surface heights on the performance of continuously stocked spring calving beef cows and their calves. *Grass and Forage Sci.* 44 (1989) 259-266.
58. Wulf D.M., Wise J.W., Measuring muscle color on beef carcasses using the L*a*b* color space. *J. Anim. Sci.* 77 (1999) 2418-2427.

Table I. Nitrogen fertilizer, stocking rate and live weights of Belgian blue bulls grazed over a six years experiment.

	Treatments		
	HN	MN	ON
Stocking rate (bulls·ha ⁻¹)	6	6	4
Fertilization (kg N·ha ⁻¹)	140	93	0
Initial live weight (kg)	293	294	293

Table II. Yield, botanical composition, sward characteristics and grass chemical composition of plots fertilized at 140 (HN), 93 (MN) or 0 (ON) kg N ha⁻¹ and grazed at a stocking rate of 6, 6 or 4 Belgian Blue bulls ha⁻¹.

	Treatment			RSD	P
	HN	MN	ON		
Yield (1000 kg DM ha ⁻¹)	11.7	11.5	9.6	-	NS
Legumes (%)	15.2	17.7	17.8	-	NS
Gramineae (%)	69.3	66.9	66.3	-	NS
Others (%)	15.5	15.4	15.9	-	NS
Grass height (cm)	6.2	7.1	8.6	2.3	NS
Refusal percentage (%)	10.4	12.7	12.6	8.1	NS
Chemical composition:					
Dry matter (%)	17.1	16.8	16.5	5.1	NS
Ashes (% DM)	11.7	11.6	11.3	1.0	NS
ADF (% DM)	22.9	23.0	22.6	1.3	NS
Crude protein (% DM)	21.0	21.0	20.3	3.3	NS
Sol N (% tot N)	31.4	32.0	32.7	6.2	NS
Sol non prot N (% tot N)	22.9	22.7	23.3	4.6	NS
Sol prot N (% tot N)	8.4	9.4	9.4	3.0	NS
NH ₃ (% tot N)	1.5	1.5	1.4	0.3	NS
NO ₃ (% tot N)	8.7	7.2	6.8	2.8	NS
Minerals:					
Ca (g·kg ⁻¹ DM)	7.24 a	7.35 a	8.37 b	1.17	*
P (g·kg ⁻¹ DM)	4.40	4.28	4.11	0.49	NS
Na (g·kg ⁻¹ DM)	0.79 a	0.67 b	0.62 b	0.16	*
Mg (g·kg ⁻¹ DM)	2.03	1.99	1.99	0.21	NS
K (g·kg ⁻¹ DM)	36.86	37.10	34.19	4.35	NS

ADF: acid detergent fibre; Sol N: soluble nitrogen; Sol non prot N: soluble non protein nitrogen; Sol prot N: soluble protein nitrogen; NH₃: ammonia; NO₃: nitrates.

Means within a row with different superscripts differ significantly at P<0.05.

Table III. Performance of young bulls grazing pastures fertilized at 140 (HN), 93 (MN) or 0 (ON) kg N ha⁻¹ and grazed at a stocking rate of 6, 6 or 4 Belgian Blue bulls ha⁻¹.

	Treatments			RSD	P
	HN	MN	ON		
Concentrate intake (kg·d ⁻¹)	1.08	1.08	1.08	-	
Final live weight (kg)	444	443	450	62	NS
Average daily gain (kg·d ⁻¹)	1.05	1.03	1.09	0.21	NS
Live weight gain per ha (kg·ha ⁻¹)	903 a	895 a	629 b	87	***
Number of grazing days (d. ha ⁻¹)	870 a	870 a	580 b	69	***

Means within a row with different superscripts differ significantly at P<0.05

Table IV. Nitrogen balance per ha per year and efficiency of nitrogen utilization in grazed pastures fertilized at 140 (HN), 93 (MN) or 0 (ON) kg N ha⁻¹ and grazed at a stocking rate of respectively at 6, 6 or 4 Belgian Blue bulls ha⁻¹.

	Treatments		
	HN	MN	ON
Inputs (kg N)			
- Rain fall	10	10	10
- Fertilizer	140	93	3
- Legume fixation	56	64	54
- Feedstuff	16	16	10
Total (kg N)	222	183	78
Outputs (kg N)			
Balance ¹ (kgN)	193	155	58
Apparent nitrog.effic. (%) ²	13	15	26

Balance¹ = Inputs – Outputs

Efficiency² = Outputs / Inputs

Table. V – Animal performance, slaughter and carcass characteristics of Belgian Blue bulls finished indoors after being initially grazed on pastures fertilized at 140 (HN), 93 (MN) or 0 (ON) kg N ha⁻¹ and grazed at a stocking rate of 6, 6 or 4 Belgian Blue bulls ha⁻¹ or fattened indoors (FI).

	Treatment				RSD	P.
	HN	MN	ON	FI		
Initial weight (kg)	293	294	293	-	53	NS
Final grazing weight (kg)	444	443	450	-	62	NS
Initial finishing weight (kg)	447	442	449	312	64	NS
Final weight (kg)	575	565	575	553	58	NS
Duration (d)						
Indoor fattening	96 a	97 a	94 a	163 b	22	***
Grazing and indoor	241	242	239	-	23	NS
Daily live weight gain (kg)						
Pasture	1,05	1,03	1,09	-	0,21	
Indoor	1,32 a	1,28 a	1,35 a	1,50 b	0,24	***
Both periods	1,16 a	1,13 a	1,18a	1,50 b	0,16	**
Fattening feed intake (kg)						
Total	854 a	861 a	836 a	1361b	207	***
Daily	8.8	8.8	8.8	8.5	0.50	NS
Feed conversion ratio(kg·kg-1)	6.91 a	7.15 a	6.84 a	5.77 b	1.38	*
Total grazing and indoor feed intake (kg)	1002	1011	982	1364	221	*
Slaughter						
Slaughter weight (kg)	575	561	572	548	58	NS
Carcass weight (kg)	357	349	352	342	39	NS
Dressing percentage (%)	62,1	62,2	61,5	62,2	2,1	NS
Carcass						
Muscle %	73.5	72.6	73.7	73.8	2.19	NS
Connective and adipose tissue %	13.6	13.9	12.8	13.4	1.85	NS
Bone %	13.0a	13.5b	13.5b	12.8a	1.01	*

Means within a row with different superscripts differ significantly at P < 0.05

Table VI. Meat composition and quality parameters of Belgian Blue bulls finished indoors after being initially grazed on pastures fertilized at 140 (HN), 93 (MN) or 0 (ON) kg N ha⁻¹ and grazed at a stocking rate of 6, 6 or 4 Belgian Blue bulls ha⁻¹ or fattened indoors (FI).

	Treatment				RSD	P
	HN	MN	ON	FI		
Chemical composition						
Dry matter (%)	24,3	23,9	23,8	24,2	0,9	NS
Ash (%DM)	5,0	4,7	4,7	4,7	0,4	NS
Crude protein (%DM)	89.6	89.6	89.3	90,1	0.5	NS
Ether extract (%DM)	3,6	3,4	3,6	3,3	0.3	NS
Meat characteristics						
pH after 4h	6.0	6.0	6.1	5.9	0.1	NS
pH after 48 h	5.6	5.5	5.5	5.5	0	NS
T° after 4h	27.0	27.1	26.4	28.9	0.1	NS
Meat colour						
L*	42.5 a	42.5 a	41.6 a	44.2 b	3,0	**
a*	17.2 ab	18.3 b	18.0 ab	17.0 a	1,8	*
b*	16.9	17.5	16.9	17.4	1.7	NS
Drip (%)	6.0	5.6	5.7	5.6	1.2	NS
Cooking losses (%)	29.4 ab	30.5 b	30.2 ab	28.3 a	3.7	*
Peak shear force (N)	37.4	38.8	39.5	37.4	9.2	NS

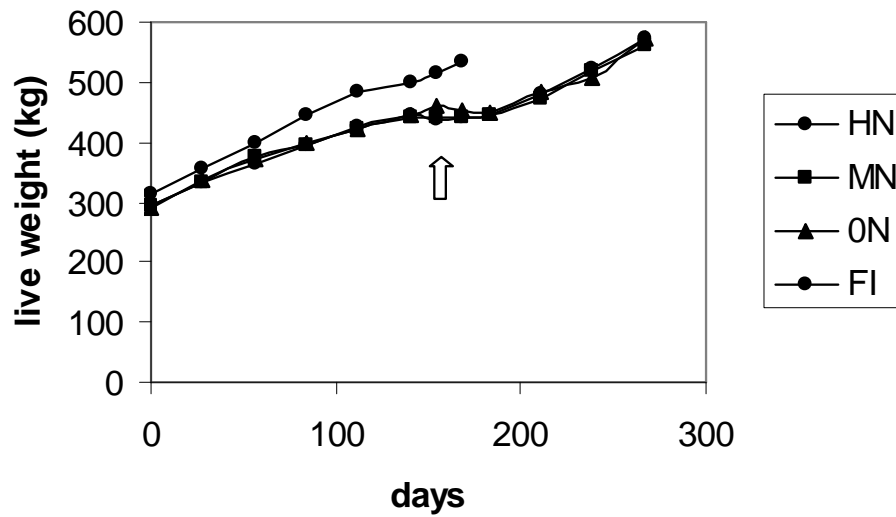
Means within a row with different superscripts differ significantly at P < 0.05

Table VII. Fatty acids composition (molar percentage) in intramuscular fat of Belgian Blue bulls finished indoors after being initially grazed on pastures fertilized at 140 kg N ha⁻¹ and grazed at a stocking rate of 6 Belgian Blue bulls ha⁻¹ (HN) or fattened indoors (FI).

	Treatment		RSD	P
	HN	FI		
C14:0	1,7	2.0	1.0	NS
C16:0	25,7	27.2	4.4	NS
C16:1	1,2	1.5	0.7	NS
C18:0	18.8	19.8	3.1	NS
C18:1	36,4	31.9	6.0	NS
C18:2	13,9	15.7	5.8	NS
C18:3	2,5b	1.5a	0.7	*
SFA	46,1	48.5	4.0	NS
MUFA	37,6	33.0	6.6	NS
PUFA	16,3	18.6	7.2	NS
UFA/SFA	1.17	1.08	0.18	NS
PUFA/SFA	0.35	0.40	0.17	NS

Means within a row with different superscripts differ significantly at P < 0.05

Figure 1. Live weight changes of Belgian Blue bulls finished indoors after being initially grazed on pastures fertilized at 140 (HN), 93 (MN) or 0 (ON) kg N ha⁻¹ and grazed respectively at 6, 6 or 4 Belgian Blue bulls ha⁻¹ or bulls fattened indoors (FI).



The arrow indicates the beginning of the indoor finishing for the bulls previously grazed.

ETUDE 4. Effects of different levels of nitrogen fertilization on performance, nitrogen balance and nitrate contents in soil of pastures grazed by dairy cows and bulls.

F. Dieguez (1), J-L. Hornick (1), J-P. Destain (2), L. Istasse (1) & I. Dufrasne (3)

ADRESS:

(1) Nutrition Unit. B43 (3) Experimental Station. B39, Veterinary Faculty, University of Liege. 4000 Liege (2) Department of crop production – Agronomic Research Center of Gembloux 5030 Gembloux – Belgium.

Corresponding author:

TELEPHONE: +32 4/366 23 73

FAX: +32 4/366 23 70

E-Mail: isabelle.dufrasne@ulg.ac.be

Abstract. Three levels of intensification compared during six consecutive years in permanent pastures either rotationally grazed by dairy cows or grazed in set stocking by bulls. These levels were : a high level (3/3 N : 136 kg N/ha, 3.35 cows/ha and 140 kg N/ha, 6 bulls/ha, a moderated level with a reduction of 33 % of the nitrogen fertilization and the same stocking rate (2/3 N: 91 kg in cows trial and 93 N/ha in bulls trial) and a level of low intensification with no nitrogen and with a reduced stocking rate (0 N with 2,51 cows/ha or with 4 bulls/ha). The treatments did not affect either grass characteristics or nitrogen and fiber contents. The animal performances were not affected by treatments by contrast to the production per hectare. Plasma and milk urea contents were significantly lower in 0 N as compared to 2/3 N and 3/3 N. The nitrogen balances in the pastures were reduced in the 0 N treatment with a higher efficiency of nitrogen use. Estimated nitrogen losses of the system as volatilisation, denitrification and leaching were enhanced by N fertilisation. The nitrate amounts in the soil were also lower in the 0 N treatment as compared with the 3/3 N treatment in the two trials.

Keywords: Nitrogen fertilizer, intensification, grazing pastures, dairy cows, fattening bulls.

INTRODUCTION

Intensive production on grazed pastures is a significant source of water pollution by leaching (Allen *et al.*, 1996). The sources of nitrogen entering the cycle in the soil are mainly the recycled animals dejections and nitrogen fertilization. Since the sixties, livestock production was carried out in a very intensive way. Parallel increase of stocking rates and nitrogen fertilization enhanced productions per hectare (Delaby & Peyraud, 1998). This intensification and its related effects on crop and grass yield as well as on animal performance were largely studied. Nitrogen balance is generally widely positive but outcome nitrogen efficiency is low and residues are high (Leach and Bax, 1999). However, since dairy quotas in 1984 and the common agricultural policy reform in 1992 and owing to the environmental problems associated with animal nitrogen effluents, the farms management is now directed towards a reduction in the stocking rate and nitrogen fertilization. This tendency is observed both for meat and milk production. A less intensive management of the grazed pastures reduces the nitrogen rejections owing to lower nitrogen fertilization input and should the case occur to lower stocking rates. Whatever, most often the result is very a decrease of the income which must be compensated by European aids. In such system, stocking rate and nitrogen fertilizer are generally decreased together while in extensive system, the nitrate fertilization is suppressed. The reduction of nitrogen fertilization without stocking rate changes and their related effects on animal performance and nitrogen excretions were poorly investigated.

The objectives of the present work were to study the effects of a reduction of nitrogen fertilization without reduction of the stocking rate or a suppression of nitrogen fertilization with an adapted stocking rate on nitrogen balance, on soil nitrate levels, botanical composition and forage quality characteristics of pastures grazed by dairy cows and bulls. The animal performances were also studied.

MATERIALS AND METHODS

Experimental design

The experiment was carried out on permanent pastures located in the area of Liège (Belgium) at 150 meters above sea level. The soil was mainly constituted by loam (0.002-0.05 mm : 71.6 % ; 0.05-2 mm : 11.1 %) and by clay (0-0.002 mm ; 17.3 %). The mean annual rainfall is 848 mm and the mean average temperature is 8.9°C. Three levels of nitrogen fertilization (3/3 N, 2/3 N and 0 N) were compared during six consecutive years on pastures rotationally grazed by dairy cows and on pasture grazed as set stocking by bulls. The stocking rate was the same in the plots with nitrogen fertilization while in the plots with no nitrogen, the stocking rate was reduced by 25 % for the dairy cows and by 33 % for the bulls. Each year before the beginning of the grazing period 54 kg P₂O₅ and 54 kg K₂O₃ or 63 kg P₂O₅ and 63 kg K₂O₃ was applied on the pastures grazed by the dairy cows and the bulls respectively. Nitrogen fertilizer was spread on the same dates in the 3/3N and 2/3N groups as ammonium nitrate - 27% N -. At each spreading, 40 kg and 27 kg N/ha were applied in the 3/3N and 2/3N treatments respectively. So, over the grazing season in the pastures grazed by the dairy cows, the total amount of nitrogen applied was 136 kg and 91 kg N/ha in the 3/3 N and 2/3 N groups respectively (table 1). In the pastures grazed by bulls, the corresponding amounts were 140 kg and 93 kg N/ha.

Pastures and grazing management

In the dairy cows trial, the pastures was composed of 74 % graminæ, 15 % white clover and 11 % other plants. Six paddocks were in a rotational grazing system in each nitrogen level. The total area was 2,62 ha for the 2/3 N and 3/3 N plots and 3,50 ha for 0 N. The average stocking rate was 3,35 cows/ha in the nitrogen fertilized pastures and 2,51 cows/ha in the pastures with no nitrogen fertilizer. The bulls grazed on a surface of 1,3 ha for 2/3 N and 3/3 N plots and 2,0 ha for the 0 N one. The stocking rate was respectively of 6, 6 and 4 animals/ha. In the pastures grazed by the dairy cows, nitrogen was applied each year starting from the second passage of the animals and as soon as they were removed from the plot. There was, however, no nitrogen application during periods of prolonged dryness. In the pasture grazed by bulls, fertilization was applied every three weeks. The pasture grazed by the

bulls was previously exploited for fodder crops and cereals and grass was sown in September. The grazing periods started at the beginning of May and finished at the end of September. The grass in excess during the Spring was either grazed by other animals added to the experimental animals or was cut for silage. The fertilization and rotation in the 3/3 N and 2/3 N groups was conducted in a similar manner while the 0 N animals were managed separately. The plots changes for the dairy cows were decided when the dairy production over the last 3 days fell below 90% of the maximum production observed during the period. Refusals grass were mowed on each paddock after the first or the second passage.

Animal management

27 cows grazed during the first three years and 24 cows during the last three years. Half of the cows were Friesian Holstein, the other half being Red Frisian (25%) and crossbred Holstein - Belgian Blue (25%). The percentage of primiparous was 35%. The animals were divided in three groups on the basis of the number of lactation, the date of calving, the production of milk, and the production at the turn-out. During the pre-experimental period, all the animals grazed as one herd the first 2 paddocks of each treatment group. At beginning of the trial, the live weight of the cows was 536 kg; they had calved for 59 days. Their daily milk yield was 22.1 kg. The concentrate intake per cow was similar in the three groups. It was increased at the end of trial in order to support the dairy production. The concentrate was made of dried sugar beet pulp (50%) and barley (50%). It was offered during milking with a handling distributor.

The bulls were from the Belgian Blue breed double muscle type. There were 8 animals per group. They received during the season a concentrate made of dried beet pulp (50%) and cereals (50%) at an average rate of 1 kg/d/bulls. This amount was eventually adapted according to grass availability. At the beginning of the trial, the average live weight and age of the bulls was 294 kg and 9.5 months.

Animal performance measurements

In the dairy cows trial, milk production was recorded in the morning (6. 00) and in the afternoon (16. 00) and the animals were weighed every 28 days. The live weight gains were integrated in the calculation of the live weight gain per hectare. Concentrate intake was recorded. The fat, protein and urea contents in milk were measured monthly from a pooled sample of individual daily milk of each cow. The bulls were weighed every 28 days. Individual jugular blood samples were collected on both sexes whenever the live weight was recorded. Blood was collected in 10ml tubes containing Li-Heparin (130 Units/10ml) and plasma was separated and stored at -20°C until analysis for determination of urea by the diacetylmoxime method.

Measurements of botanical and chemical composition of grass

The dry matter yield (DM) was measured on the first year in paddocks of the dairy cows in plots withdrawn from grazing ($2 \times 5 \text{m}^2$). These small plots strips were cut alternatively every 2 weeks using a lawn mower at 4 cm height. Grass heights was determined with a 30 X 30 cm aluminium settling plate instrument with a pressure of 2 kg/m^2 at the beginning and the end of grazing in each paddock of the dairy cow trial and every two weeks in the bulls trial. One hundred measurements were taken per hectare. Herbage refusals were estimated from measurements of grass height whenever dairy cows were changed from plots and every two weeks in the bull trial. Botanical composition was estimated during the first and the last years by a technique adapted from the method of the frequencies (Andries 1950). The chemical composition of grass was measured every two weeks from 10-15 random handfuls cutted off with scissors at 1 cm height. The nitrate content in soil was determined from core samples taken up to 90 cm depth by layers 0-30, 30-60 and 60-90 cm after extraction with 0,5 N - KCl. The analyses were made with a continuous flow analyser (Skalar). In the dairy cow trial, the samples were taken at the end of the grazing season of years 3, 4 and 6, and in the Spring of years 4 and 5. In the pasture grazed by the bulls, the samples were obtained at the end of grazing season in years 2, 3, 4 and 6 and in the Spring of years 4 and 5. The daily rainfall and average temperatures were obtained from meteorological observations of a neighbour station (table 2).

Measurement of nitrogen balance and excretion

In the calculations of nitrogen balance, nitrogen deposition from the atmosphere was estimated at 35 kg N/ha/year according to Fangmeier *et al.* (1994). The nitrogen fixed by legumes was calculated according to Farruggia *et al.* (1997):

$$\text{Nitrogen fixed by legumes (kg/ha)} = \text{Biomass produced by the pasture (kg DM/ha)}$$

$$\times \text{PC (\%)} \times \text{NPC (\%)} \times \text{fixation (\%)}$$

in which PC was the percentage of clover, NPC the nitrogen content in clover (0.035) and fixation, the average nitrogen fixation by clover (0.90). The nitrogen intake from concentrates was calculated according to tables (INRA, 1988). The concentrates offered to the dairy cows and bulls were a 50/50 mixture of dried sugar beet pulp and barley distributed at each milking in milking parlour and once per day to the bulls. Maize silage was also distributed during grass shortage to the dairy cows in July during the first three years. The nitrogen exported in milk per hectare and per year was the product of milk yield by the protein content. The nitrogen exported in meat was calculated according to the live weight gain per hectare and the nitrogen content as proposed by Farruggia *et al.* (1997). Nitrogen utilisation efficiency of the system was calculated as the ratio between the outputs as livestock products and the total inputs in the system (Leach & Bax, 1999).

Nitrogen excretions of dairy cows were calculated by the formula suggested by De Brabander *et al.* (1998):

$$\text{Nitrogen excretion (kg N/ha/year)} = 43.1 + 0.36 \text{ plasma urea (mg N/l)} + 6.0 \text{ milk yield (kg/d)} \\ \times \text{grazing days.}$$

The volatilization and the denitrification of nitrogen were calculated according to the AzoPât model (Decau *et al.*, 1997). Nitrogen leaching was estimated with the formula suggested by Farruggia *et al.* (1998):

$$\text{Nitrogen leaching} = 5.2362 \times e^{(0.0104 \times \text{Neff})};$$

in which nitrogen efficiency was calculated on the basis of nitrogen fertilization and nitrogen from dejections as urine and feces (75% and 25% respectively; Whitehead, 2000). Nitrogen excretion of the bulls was calculated according to the regression published by Terada *et al.* (1998):

$$\text{Nitrogen excretion (kg N/ha/year)} = [(16,74 \times \text{DMI} + 8,54 \times \text{CP} + 0,108 \times \text{BW} - 154,3) \times \text{GD}]$$

where DMI: dry matter intake (kg), CP: crude protein expressed in dry matter, BW : live weight (kg) and GP: grazing days (stocking rate X days). The grass dry matter intake was calculated by subtracting the energy allowed by the concentrate from the energy requirement calculated on the basis of the live weights and the daily live weights gain according to INRA (1988).

Statistical analyses

The results were treated by the “general linear model” procedure of Minitab software (1989). The statistical model was:

$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijn}$ where μ = overall mean, α_i = fixed effect of treatment, β_j = fixed effect of year, $\alpha\beta_{ij}$ = interaction between treatment and year effect, and ε_{ijn} = random residual effects associated with the n observations ($\sim N[0, \sigma]$).

RESULTS

Weather conditions

During the experimental period temperatures were higher in May, June, July and August than those registered during the last 31 years (Table 2). The reverse was observed in September and October. No clear tendency was observed with rainfall but, more extreme rainfall conditions such as shortages in August over 5 years and abundant rainfalls in May (year 5), June (years 5 and 6), September (years 1 and 6) and October (year 6) were observed.

Production, botanical and chemical compositions of grass

Higher grass yields was obtained with N fertilizer (11.7 t DM/ha and 11.4 for 3/3 and 2/3 N vs 9.6 with 0 N). The efficiency of N in term of DM production was 21 for 2/3 N and 6.5 kg DM/kg N applied for 3/3 N as compared in 0N. The botanical composition is presented in Table 3. In the dairy cow trial, a reduction in legumes in treatment 3/3 N was observed when compared to the other treatments. In the bull trial, the 0 N treatment presented highest proportion of clover during the first year. On year 6 no difference between the treatments could be found.

When the dairy cows started grazing in a new paddock, grass height was higher with nitrogen fertilizer (11.9 and 11.2 vs 10.6 cm $p < 0.05$; Table 4). On the end of grazing, grass height was 4.2 cm and similar between the groups. In bull trial, there was a non significant reduction of grass height when nitrogen fertilizer was used and the percentages of refusals were numerically higher in 2/3 N and 0 N treatments (12,7 vs. 10,4%; $P > 0,05$).

Dry matter content as well as crude protein and nitrogen fractions of grass were not affected by treatments in any of the trials. By contrast to the nitrates content in the dairy cow trial which was increased (9.5, 8.7 and 7.2% in 3/3 N, 2/3 N and 0 N groups respectively, $P < 0.05$). In bulls experiment, crude protein content was numerically higher in treatments 3/3 N and 2/3 N to 0 N (211 vs 203 g/kg DM; $P < 0.05$). The potassium, phosphorus and magnesium contents were, on average, 34.4, 4.1 and 2.1 g/kg DM respectively without effects of the treatments. By contrast, the calcium content was significantly ($P < 0.05$) affected, 0 N inducing a higher calcium content than the 3/3 N and 2/3 N (8.79 vs 6.54 and 7.41 g/kg DM in the cows experiment and 8.37 vs 7.24 and 7.35 g/kg DM in the bulls trial). In contrast, sodium content was higher in the 3/3 N treatment (0.98 vs 0.88 and 0.80 g/kg DM in 2/3 N and 0 N; $P < 0.05$ and 0.79 vs 0.67 and 0.62 g/kg DM; $P < 0.05$ in the cows and bulls trials respectively).

Animal performances

Animal performances are summarized in Table 5. There were no significant difference in individual performance in dairy and bull trials. The milk yield per hectare was higher ($P<0.05$) in the 3/3 N and 2/3 N groups (8432 kg) than in the 0 N group (6783 kg). The fat content of milk was higher in the 0 N group at 4.1 g/l than in the two other groups (3.9 g/l; $P<0.05$). By contrast, the fat yield per ha was higher within the nitrogen fertilizer groups than in the 0 N group (317 and 323 vs 255 kg in the 3/3 N, 2/3 N and 0 N groups; $P<0.05$). There were no effects on the milk nitrogen content but milk protein yield per ha was significantly reduced with the 0 N treatment. The higher intake of concentrate in 3/3 N and 2/3 N groups of the two trials reflected the higher stocking rate in these groups compared to the 0 N groups. In the bulls trial, the live weight gains per ha were higher in the treatment 3/3 N and 2/3 N than in the 0 N treatment (903 vs 629 kg/ha, $p<0.05$), the individual live weight gains and the lengths of grazing period being similar in the three groups.

Plasma and milk urea and nitrogen rejection

In the two trials, the mil and plasma urea contents were significantly higher ($P<0.05$) when nitrogen fertilizer was applied. In the two trials, nitrogen excretions by the animals were higher in the treatments with nitrogen fertilization than in the 0 N treatment owing to higher stocking rate.

Nitrogen balance

The nitrogen balances in the dairy cows trial were positive with the three treatments but lower in 0 N (41 vs 150 and 118 kg for 3/3 N and 2/3 N; Table 6). In the bulls trial, the nitrogen outputs were about 50 % lower than in the dairy cows trial (22 vs 47; 21 vs 47 and 15 vs 38 kg N/ha in the 3/3 N, 2/3 N and 0N respectively).

The nitrogen utilisation efficiency was more than twice higher in the dairy cows trial than in the bulls trial (24, 28 and 48% vs 10, 11 and 19% with the 3/3 N , 2/3 N and 0 N treatments).

The reduction of the fertilization by 33% in the 2/3N treatments allowed an improvement of efficiency by 16,7 % in the dairy cows trial and by 10 % in the bulls compared to the 3/3N treatment. In the 0 N treatment, nitrogen utilization efficiency was increased by 85 and 81 % compared to the average of two other treatments.

The nitrogen losses by volatilisation were doubled in the 3/3 N and 2/3 N groups as compared with 0 N. An estimation of nitrogen losses by volatilisation, denitrification and leaching is presented in Table 6. The calculated volatilisation was on average 21 kg N/ha/year for the treatments with nitrogen fertilization while it was 11 kg N/ha/year in the 0 N. The calculated denitrification was 28, 24 and 15 kg N/ha/year for the 3/3 N, 2/3 N and 0 N treatments respectively. Leached nitrogen was on average 46, 37 and 22 kg N/ha/year in the 3/3, 2/3 N and 0 N treatments for the two trials.

Nitrates in the soil

The amount of N-N₀₃ in the three soil layers calculated as averages of 3/3 N and 0 N treatments in Spring and Autumn was 52.3 kg/ha in the dairy cows trial and 32.0 kg/ha with the bulls (Table 7). The nitrates amounts were lower in the layer 60-90 cm than in the two other layers in which data were quite similar. In dairy cow trial, total nitrates amounts and nitrates in the 0-30 cm layer were lower in 0 N than in 3/3 treatment.

DISCUSSION

The nitrogen fertilization allowed an increase of 21 and 5 kg grass DM yield per kg N. According to Holmes (1968) and Prins (1984) values from 15 to 7,5 DM per kg N could be respectively obtained by applications of nitrogen fertilization from 200 to 400 kg/ha. For lower levels of nitrogen fertilization (80 kg N/ha), Frame (1987) obtained an increase of 20 kg DM per kg N.

The reduction in the proportion of legumes due to nitrogen fertilization is usually described in the literature (Frame & Boyd, 1987) and is attributed to an enhance competitiveness of grasses more able to use N (Holmes, 1968; Frame, 1987).

The lack of difference between 2/3 N et 0 N in the botanical composition in year 6 in the bull trial could be explained by the lower grass heights and the relatively high stocking rate in the 2/3 N treatment. With higher stocking rates, the ramification and the development of clover were favoured (Frame, 1987). Furthermore nitrogen fertilization effects on clover were lower when there was a frequent defoliation of the pasture (Frame & Boyd, 1987).

In the dairy cow trial, the residual heights recorded after the passage of the animals were slightly lower than those reported by Delaby & Peyraud (1998) and Hoden *et al.* (1991). According to them a residual sward height of 5-6 cm was not limiting for the individual dairy production. Furthermore, at an intensified rate of production, the milk yield per ha can be increased by a higher stocking rate. A no significant sward height reduction was observed in the 2/3 N treatment compared to the 3/3 N treatment both at the beginning and at the end of grazing. This suggests that the cows of the 2/3 N groups exerted a higher grazing pressure in order to maintain a sufficient grass intake.

In the bull trial, the sward heights were in the rank of values - 7 to 10 cm - advised by Wright & Whyte (1989) and Hodgson (1990) as optimal heights for growing fattening animals.

Consequently, the reduction in nitrogen fertilization induced a reduction in the grass availability which had to be compensated by a reduction of the stocking rate. With the 2/3 N treatment, a reduction of 33% of the nitrogen fertilization without changes of the stocking rate did not induce changes on the level of the individual animal performances. Under these conditions, it was probable that herbage dry matter intakes were identical in the three treatments. There were interactions between soil and grass and interactions between grass and animal with, as final results, only small differences in the yield of the pastures or in the animals performance. This was due to modifications of the flora and adaptations in the herbage yield induced by the animals. In addition, in the 3/3 N treatment there was probably a part of nitrogen which is fixed in the organic matter by the microorganism and therefore was less available for mineralisation. Thus, in terms of nitrogen fertilization, one can consider that 40 kg N by passage was a waste since 27 kg were sufficient to obtain similar productions.

The lack of treatment effect on the dry matter content was opposed to the results of Demarquilly (1997) who reported a decrease in dry matter content when nitrogen fertilizer was used. There were no significant differences in the nitrogen content of grass in the present trial. Dufrasne *et al.* (1995) reported also no relationships between crude protein and nitrogen fertilizer in pastures with similar botanical compositions as the present ones. It was likely that nitrogen fertilization was provided by the soil to the plants. The soil of permanent pastures contains more than 95% nitrogen as organic matter (Whitehead, 2000) which is constitutive of an mineralisable pool. The reduction of the fertilization in the 2/3N treatments had thus limited effects on the crude protein contents. So it was possible to offer the animals the same quality grass in the different treatments. In the 2/3 N treatment, both mineral nitrogen supplied by the soil and clover content probably suppressed the differences with the 3/3 N treatments. In the 0 N treatments, the increase of clover contributed also to raise the crude protein contents at a level as high as in the other treatments. Similar results were reported by Delaby & Peyraud (1998) in a permanent pasture with or without nitrogen fertilizer. They related the similar crude protein contents in grass to the increase in white clover observed in the system without nitrogen. It should be noted, however, that usually nitrogen fertilization increased the nitrogen content in grass (Duru, 1992; Wilkins *et al.*, 2000) mainly because of an increase in nitrates content (Peyraud & Astigarraga, 1998).

Potassium and phosphorus contents of grass in the dairy cows and in the bulls trial were in the ranges of values reported by Hemingway (1999). This author reported that magnesium content increased with fertilization, concentrations varying from 1,50 to 1,79 g per kg DM, these values being lower than those reported in the present work. In both trials, the calcium content decreased in the treatments with nitrogen fertilization. These results agreed with those of Coombe & Hood (1980) and Hemingway (1999) and can be related to a diminution of white clover. Increase in the sodium contents with higher nitrogen fertilization in mixed pastures was already reported by Reid & Strachan (1974). The increase was associated with reduced intake of salt from leak blocks.

Milk yield per hectare was lower in the treatment without nitrogen fertilization due to the reduction in the stocking rate, the individual performances and the duration of grazing being similar. Such effects were previously reported Delaby & Peyraud (1998) who did not observe differences in individual productions but observed a reduction of the production per hectare in

extensive systems of grazing. The total yield of protein and fat per hectare followed the same tendency. The fat content of milk was however higher in the 0 N compared to the other treatments (4,10 vs 3,90 %; $P < 0,05$). Delaby & Peyraud (1998) also observed a tendency for an increase in the fat content when nitrogen fertilization was reduced. The highest milk yield per hectare in the 3/3 N and 2/3 N treatments, due to the higher stocking rates, compensated for the reduction of the fat content compared to the 0 N treatment.

The lower plasma urea content in 0 N treatment can not be explained by the crude protein content of grass since they were similar in the three treatments. By contrast, the nitrate contents in grass could partially explain these differences. According to Peyraud & Astigarraga, (1998) nitrogen fertilization increased the non protein nitrogen fraction. Several studies reported also an increase in the dairy cows plasma urea content when nitrogen fertilization was increased (Bakanov et al., 1976; Gielen et al., 1989, Astigarraga et al., 1993 and Dufrasne et al., 1995). The correlation calculated between plasma and milk urea concentrations at $r = 0.74$ was lower than those correlation found by Roseler et al. (1993) and Oltner & Wiktorsson (1983) (0.88 and 0.98 respectively). Nitrogen excretions was increased with the fertilizer in dairy cows, such relationships was already reported by Delaby & Peyraud (1998) and by Hoden et al. (1991).

Hood (1976) reported nitrogen balance of 117 and 488 kg N/ha with applications of 250 and 750 kg N/ha. The nitrogen balances were positive in the two trials. In France, Simon *et al.* (1997) reported balance of 167, 128 and 42 kg N/ha in grazed pastures for dairy production with applications of 160, 64 and 0 kg N/ha/year in conventional, sustainable and organic systems respectively. In the 0 N treatment, the lower nitrogen output as meat was the consequence of a lower live weight per ha owing to the adapted stocking rate. These results were in agreement with those published by Farruggia *et al.* (1997) and Stevens (1999) who observed nitrogen outputs of 15 and 30 kg N/ha in beef cattle fattened in pasture fertilized with nitrogen in the range of 0 to 390 kg N/ha. Nitrogen which was introduced in the system and which was not recovered as livestock products was either stored in the soil or lost by leaching or volatilisation. The results of the nitrogen balance in the bulls trial were comparable with those published by Farruggia *et al.* (1997). The authors reported positive nitrogen balance in pastures grazed by growing cattle, the balances being proportional to the inputs particularly when nitrogen was supplied by the fertilizer.

The higher nitrogen utilisation efficiency with grazing dairy cows than with grazing growing fattening bulls was in agreement with the findings of Deenen (1990) who reported values of 22% in dairy production compared to 7 % in meat production systems with a lower nitrogen fertilization. Jarvis *et al.* (1989) and Stevens (1999) observed in beef production efficiencies ranging from 10 to 15%.

In the dairy cow trial, the nitrogen utilisation efficiency was in the same order of magnitude as the value quoted by Leach and Bax (1999) in an intensive system and in a system without nitrogen fertilization. Simon *et al.* (1997) reported efficiencies of about 23-32% with conventional systems in dairy production with nitrogen fertilization ranging from 200 to 119 kg N/ha and efficiencies up to 81% in organic systems without nitrogen application and with a low animals supplementation but considering high rates of atmospheric nitrogen fixation by legumines. Deenen (1990) and Stevens (1999), with bulls, noted an increase in efficiency with systems in which low nitrogen fertilization was applied. The nitrogen losses in the present work were in agreement with values reported by Jarvis *et al.* (1989). Decau *et al.* (1997) and Whitehead (2000) with ranging from 1 to 18 kg N/ha/year for mixed pastures with no nitrogen fertilization and values from 9 to 28 kg N/ha/year when a fertilization from 100 to 210 kg N/ha/year was used.

The present calculated denitrification data were very similar to those reported by Decau *et al.* (1997) with the Azopât method (18 and 28 kg N/ha/year for systems with 0 and 100 kg N/ha/year). Scholefield & Fisher (2000) with the NCYCLE model obtained denitrification values of 25 kg N/ha/year with conditions optimised for a maximum milk yield with a fertilization of 340 kg N/ha. However, with the same model and with similar conditions but by minimizing environmental impact according to the EU limit, these authors reported lower values (6 kg N/ha/year). By contrast, Whitehead (2000) published a higher denitrification value of 86 kg N/ha/year for mixed pastures fertilized with 200 kg N/ha/year.

The data on leached nitrogen were in agreement with those published by Decau *et al.* (1997) and Whitehead (2000) and were in the range of 28 to 50 kg washed N/ha/year with nitrogen fertilizations from 0 to 400 kg N. Scholefield & Fisher (2000) with the NCYCLE model and in conditions of maximum milk yield estimated leaching losses at 143 kg N/ha/year, with a nitrogen fertilization of 340 kg N/ha/year. The losses could be, however, reduced to 18 kg

N/ha/year with a more extensive management but with a reduction of 77 % in the production per ha.

According to Prins (1984) and Simon *et al.* (1998), the amount of nitrates in the soil was depending on the temperature, type and humidity of soil, rainfall, previous fertilization of the pastures, herd management and the supplementation of the animals. For pastures in which white clover content was very high, Simon *et al.* (1997) indicated significant risks of leaching. In the present work, the pasture of the dairy cows was an old permanent pasture while that of bulls was a recently seeded pasture.

In the two trials, significant variations between years were noted but there was no nitrate accumulation in the soil on the last year. The amounts of nitrate measured in the spring were generally lower than those observed in the Autumn but no statistically different (Figure 1). The mineralisation of nitrogen is increased in Spring, but part of this mineral nitrogen is used for the grass growth (Simpson & Stobbs, 1981). According to Destain *et al.* (1994) and at the end of the grazing season, nitrates in the soil are generally about 15 to 40 kg N/ha. With more than 45 kg N-NO₃/ha in the first 90 cm in the soil at the end of the grazing season a risk of pollution of drainage waters could be observed (Elsaesser, 1994). Such figures were exceeded in the 3/3 N treatment.

Milimonka *et al.* (1994) reported higher nitrate amounts in the 30 first cm. In the layer below 60 cm, there is little chance for the nitrates to be recovered by the roots of the plants and the risks of leaching and of enrichment of the ground water are increased (Spatz, 1992).

The average values in the three layers were higher in the 3/3 N treatment compared to the 0 N treatment. This can be explained by the higher stocking rate and by the higher nitrogen fertilization. The amounts of soil nitrates are strongly influenced by the recycling of nitrogen excreted by the animals (Frame 1992; Vertès & Decau, 1992; Scholefield & Fisher, 2000) and thus by the stocking rate. Feces and urine could supply locally nitrogen in amounts exceeding grass requirement and increasing the nitrogen losses in the system (Lou *et al.*, 1999). Stout *et al.* (1997) estimated that 70 to 75% of nitrogen leached in pastures grazed by dairy cows (2,2 cows/ha) originated from the animals dejections. Fertilization with mineral fertilizer induces temporary increase in soil nitrate proportional to the amount (Spatz, 1992; Cowan *et al.*, 1995;

Scholefield & Fisher, 2000 and Laidlaw *et al.*, 2000)., but during the growing period plants absorb very quickly this nitrogen (Simon *et al.*, 1998) which is moreover able to be immobilised by microflora. According to Armstrong *et al.* (1999) the presence of legumes can induce an increase of about 7 to 19 kg N-NO₃/ha after one year with 24 to 60 kg N-NO₃/ha in the first 60 cm. In the present trial, the presence of a higher proportion of clover in the 0 N treatment did not seem to have influenced the amount of nitrates in the soil. Farruggia & Pflimlin (1994) observed that the amount of soil nitrate and his leaching were equivalent in rye-grass pasture fertilized with 300 kg N/ha/year to that found in mixed meadows with a high proportion of clover. The pastures grazed by the bulls in the present experiment contained more clover in the first year explaining partly the lack of differences between nitrate measured in the soil.

Significant correlations between plasma urea contents and nitrates amounts in the soil were observed both in the dairy cow trial ($r = 0,78$; $P < 0,05$) and in the bull trial ($r = 0,40$; $P < 0,05$). The weaker correlation in the bulls trial can be explained by the lack of differences between treatments in the amount of nitrates in the grass, results being possibly influenced by the percentage of clover.

CONCLUSIONS

The reduction of the nitrogen fertilization by 33% with an unchanged stocking rate did not modify either grass production characteristics or the individual animal performance but improved the nitrogen balance. Applications of 27 kg nitrogen compared to 40 kg after each passage allowed thus a saving in nitrogen. A system without nitrogen fertilizer allowed individual animal performances as high as those found with more intensive systems if the stocking rate and the management of the pasture were adapted. The reduction of the performances per ha reflected thus the reduction of the stocking rate. This is interesting within the Framework of extensification proposed by the European Community. A system with no nitrogen fertilization induced the development of clover, improved the nitrogen balance in the environment, decreased the nitrogen excretions and thus reduced the risks of pollution.

ACKNOWLEDGMENTS

Financial support for the present work was provided by the Directorate General of Agriculture (Research Department of the Ministry of Region Wallonne – Belgium).

REFERENCES

- Allen AG Jarvis SC & Headon DM 1996. Nitrous oxide emissions from soils due to inputs of nitrogen from excreta return by livestock on grazed grassland in the U.K. *Soil. Biol. Biochem.* 28, 597-607.
- Andries A 1950. L'appréciation dans la pratique de la valeur agricole des herbages par l'examen de leur composition botanique. *Rev. Agr-Brussels* 12, 15-19.
- Armstrong RD Mc Cosker K Millar G Kuskopf B Johnson S Walsh K Probert ME & Standley J 1999. Legume and opportunity cropping systems in central Queensland. 2. Effect of legumes on following crops. *Aust. J. Agr. Res.* 50, 925-936.
- Astigarraga L Peyraud JL & Le Bars M 1993. Effect of nitrogen fertilization and protein supplementation on herbage utilization by grazing dairy cows. II.- Fecal and urine excretion. VIIIème Journées des recherches sur la Nutrition et l'Alimentation des herbivores, 24-25 Mars, 49.
- Bakanov VN Ovsisher BR Bondareva NI Mamev VA & Filippov VF 1976. Nonprotein nitrogen and urea in blood and milk of cows in relation to ration composition. *Izvestiya Timiryazevs.koi Selskokhozyaistvenoi Akademii*, 4, 177-182.
- Coombe NB & Hood AEM 1980. Fertilizer-nitrogen: effects on dairy cow health and performance. *Fert. Res.*, 157-176.
- Cowan RT Lowe KF Ehrlich W Upton PC & Bowdler TM 1995. Nitrogen-fertiliser grass in a subtropical dairy system. 1. Effect of level of nitrogen fertiliser on pasture yield and soil chemical characteristics. *Aust. J. Exp. Agr.* 35, 125-135.
- De Brabander DL Botterman SM Vanacker JM & Boucque ChV 1998. La teneur du lait en urée comme indicateur de l'alimentation énergétique et protéique de la vache laitière ainsi que de l'excrétion d'azote. *Renc. Rech. Rum.*, 5, 228.
- Decau ML Delaby L & Roche B 1997. AzoPât: une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par des vaches laitières. II-Les flux du système sol-plante. *Fourrages* 151, 313-330.
- Deenen P 1990. Herbage response to fertiliser nitrogen and its effect on efficiency of nitrogen utilisation in grazed grassland, in: Gaborcik N., Krajcovic V., Zimkova M. (Eds), *Proceedings of 13th General Meeting of the European Grassland Federation II*. Kanska Bystrica, Czechoslovakia, 33-38.

- Delaby L & Peyraud JL 1998. Effet d'une réduction simultanée de la fertilisation azotée et du chargement sur les performances des vaches laitières et la valorisation du pâturage. *Ann. Zootech.* 47, 17-39.
- Demarquilly C 1977. Fertilisation et qualité du fourrage. *Fourrages* 69, 61-84.
- Destain JP Guiot J Limbourg P & Lecomte P 1994. Première approche du bilan de l'azote en prairie permanente pâturée et de son aspect environnemental. *Fourrages Actualités*, CRA Gembloux, Belgium.
- Dufasne I Gielen M Limbourg P Brundseaux C & Istasse L 1995. Production bovine allaitante en Belgique: effets de l'intensification et de la complémentation des veaux au pâturage. *Fourrages* 141, 91-104
- Duru M 1992. Bases agronomiques pour gérer les ressources fourragères selon différents objectifs de production et d'utilisation. *Fourrages (AFPF, Eds)* 25-26 mars, Paris, France, pp. 77-87.
- Elsaesser M 1994. Effects of reduced N application on mineral N contents, DM yield and botanical composition of permanent grassland, in: t'Mannetje L., Frame J. (Eds) *Proceeding of the 15th General Meeting of the European grassland federation*, Holland, 434-437.
- Fangmeier A., Hadwiger-Fangmeier A., Vand der Eerden L., Jäger H. J. 1994. Effects of atmospheric ammonia on vegetation – a review. *Environ. Pollut.* 86, 43-82.
- Farruggia A Decau ML Vertès F & Delaby L 1997. En prairie, la balance azotée à l'échelle de la parcelle. *Fourrages* 151, 281-295.
- Farruggia A Le Gall A Legarto J Le Meur D & Cabaret M 1998. Risques de lessivage de nitrates sous prairies pâturées. *Renc. Rech. Rum.* 5, Paris, France, 224.
- Farruggia A & Pflimlin A 1994. Comparison of nitrate leaching risks under grass/clover and pure grass swards in Britany, France. in: t'Mannetje L., Frame J. (Eds) *Proceeding of the 15th General Meeting of the European grassland federation*, Holland, 397-401.
- Frame J 1987. The effect of strategic fertilizer nitrogen and date of primary harvest on the productivity of a perennial ryegrass/white clover sward. *Grass Forage Sci.* 42, 33-42
- Frame J 1992. Improved grassland management, in: Frame J. (Ed), *Farming Press Books*, Ipswich, UK, 352 pp.
- Frame J & Boyd AG 1987. The effect of fertilizer nitrogen rate, white clover variety and closeness of cutting on herbage productivity from perennial ryegrass/white clover swards. *Grass and For. Sci.* 42, 85-96.

- Gielen M Dufrasne I Limbourg P Istasse L Van Eenaeme C & Bienfait JM 1989. Effet du système de pâturage, des niveaux de complémentation et de fumure azotée sur la concentration en urée dans le lait et le sang des vaches laitières. *Ann. Méd. Vét.* 133, 589-598.
- Hemingway RG 1999. The effect of changing patterns of fertilizer applications on the major mineral composition of herbage in relation to the requirements of cattle: a 50-year review. *Anim. Sci.* 69, 1-18.
- Hoden A Peyraud JL Delaby L & Verdin PH 1991. Effets du chargement et de la complémentation en pâturage tournant simplifié. *Prod. Anim.* 4, 229-239.
- Hodgson J 1990. Grazing Management, in: Whitemore C., Simpson K. (eds.) Longman Group, UK, 204 pp.
- Holmes W 1968. The use of nitrogen in the management of pasture for cattle. *Herbage Abstracts* 38, 265-276.
- Hood AEM 1976. The high nitrogen trial on grassland at Jealott's Hill. *Overdruk uit Stikstof* 83/84, 395-404.
- INRA 1988. Alimentation des bovins, ovins et caPrins. INRA Publications, Paris, France, 471 pp.
- Jarvis SC Hatch DJ & Roberts DH 1989. The effects of grassland management on nitrogen losses from grazed swards through ammonia volatilisation: The relationship to excretal N returns from cattle. *J. Agr. Sci. Camb.* 112, 205-216.
- Laidlaw AS Watson CJ & Mayne CS 2000. Implications of nitrogen fertilizer application and extended grazing for the nitrogen economy of grassland. *Grass and Forage Sci.* 55, 37-46.
- Leach KA & Bax JA 1999. Efficiency of nitrogen use in dairy systems, in: Corral A.J. (ed), *Proceedings of the 33 Occasional Symposium of British Grassland Society.* Oxfordshire, U.K., pp. 69-74.
- Lou J Tillman RW & Ball PR 1999. Grazing effects on denitrification in a soil under pasture during two contrasting seasons. *Soil Biol. Biochem.* 31, 903-912.
- Milimonka A Richter K Jukschat M & Ebel G 1994. Changes in quantity of mineral soil nitrogen below different pasture ranges in an extensively managed pasture, in: t'Mannetje L., Frame J. (Eds) *Proceeding of the 15th General Meeting of the European grassland federation*, Holland, 423-428.
- Minitab 1989. Minitab reference manual. Valley Forge Data Tech. Industries, pp. 349.

- Oltner R & Wiktorsson H 1983. Urea concentration in milk and blood as influenced by feeding varying amounts of protein and energy to dairy cows. *Liv. Prod. Sci.*, 10, 457-467.
- Peyraud JL & Astigarraga L 1998. Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance. *Anim. Feed Sci. Tech.* 72, 235-259.
- Prins WH 1984. Limits to nitrogen fertilizer on grassland. *Neth. J. of Agric. Sci.* 32, 319-321.
- Reid D & Strachan H 1974. The effects of a wide range of nitrogen rates on some chemical constituents of the herbage from perennial ryegrass swards with and without white clover. *J. Agric. Sci. Camb.* 83, 393-401
- Roseler DK Ferguson JD Sniffen CJ & Herrema J 1993. Dietary protein degradability effects on plasma milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 76, 525-534.
- Scholefield D & Fisher GEJ 2000. Nutrient cycling in grazing systems, in: Rook A.J., Penning P.D. (eds.), *Proceedings of the 34th Occasional symposium of the British Grassland Society*, Harrogate, UK, 119-128.
- Simon JC Vertès F Decau ML & Le Corre L 1997. Les flux d'azote au pâturage. I- Bilans à l'exploitation et lessivage du nitrate sous prairies. *Fourrages* 151, 249-262.
- Simon JC Decau ML & Morvan T 1998. Facteurs de variation du devenir de l'azote des déjections bovines sur les surfaces fourragères. *Renc. Rech. Ruminants* 5, Paris, France, 193-200.
- Simpson JR & Stobbs TH 1981. Nitrogen supply and animal production from pastures. In: *Grazing Animals*, Edited by Morley, Elseviers Published, 261-287.
- Spatz G 1992. Nitrate leaching under pastures, in: Pulli S., *Proceedings of the 14th General Meeting of the European Grassland Federation*, Finland, 208-209.
- Stevens RJ 1999. Losses to water and air, in A. Corral (ed.) *Accounting for nutrients: a challenge for grassland farmers in the 21st century. Occasional Symposium 33 of British Grassland Society*. Oxfordshire, UK.
- Stout WL Fales SA Muller LD Schnabel RR Priddy WE & Elwinger GF 1997. Nitrate leaching from cattle urine and feces in Northeast USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 1787-1794.
- Terada F Abe H Nishida T & Shibata M 1998. Prediction of nitrogen excretion in finishing steers. *Anim. Sci. Technol.* 69, 697-701.

- Vertès F & Decau ML 1992. Suivis d'azote minéral dans les sols: risque de lessivage de nitrates selon le couvert végétal. *Fourrages* 129, 11-28.
- Whitehead D 2000. Nutrient elements in grassland, in: Whitehead D (Ed), Cabi Publishing, Cambridge, UK, 369 pp.
- Wilkins PW Allen DK & Mytton LR 2000. Differences in the nitrogen use efficiency of perennial ryegrass varieties under simulated rotational grazing and their effects on nitrogen recovery and herbage nitrogen content. *Grass and Forage Sci.* 55, 69-76.
- Wright IA & Whyte TK 1989. Effects of sward surface heights on the performance of continuously stocked spring calving beef cows and their calves. *Grass and Forage Sci.* 44, 259-266.

Table 1. Some characteristics of the trials where three levels of intensification differing by fertilizer inputs and stocking rate were compared during six consecutive years in permanent pastures either rotationally grazed by dairy cows or grazed in set stocking by bulls

	Dairy cows				Bulls			
	3/3 N	2/3 N	0 N	Syx	3/3 N	2/3 N	0 N	Syx
Number of animals	51	51	51		48	48	48	
N fertilization (kg N/ha)	136	91	0		140	93	3	
Stocking rate (animals/ha)	3.35	3.35	2.51		6.00	6.00	4.00	
Initial liveweight (kg)	538	535	536	69	294	294	293	56
Total grazing days (d)	168	168	168	4	145	145	145	7
Grazing days per paddock (d)	6.5	6.5	7.2					
Initial daily milk yield (kg/d)	22.0	21.8	22.4	2.3	-	-	-	
Days of lactation at the start of the grazing period (d)	59	60	59	9	-	-	-	

Table 2. Average monthly temperature and rainfall measured during six years in the area of the experiment; comparison with the previous 31 years period.

	Years	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.
Température (°C)	1	15.5	17.1	17.8	16.4	14.1	9.8
	2	13.3	16.8	22.3	18.9	14.4	10.6
	3	14.1	15.5	21.5	20.6	14.9	14.4
	4	11.5	16.8	17.5	18.4	12.7	11.2
	5	13.4	16.6	17.6	21.3	15.1	10.3
	6	15.5	17.3	17.2	18.1	15.7	9.8
Average 31 years		12.6	15.8	17.5	17.2	14.7	10.5
Rainfall (mm)	1	45	37	86	46	157	92
	2	56	56	34	75	95	54
	3	47	82	31	26	87	90
	4	54	30	51	164	36	62
	5	113	111	81	39	40	58
	6	45	103	45	61	190	144
Average 31 years		72	81	88	84	74	72

Table 3. Botanical composition of pasture on the first and the last years of a six years experiment where dairy cow grazed rotationally and growing-fattening bulls grazed in set stocking at three levels of intensification differing by fertilizer N inputs and stocking rate.

	Dairy cows			Bulls		
	3/3 N	2/3 N	0 N	3/3 N	2/3 N	0 N
Year 1						
- Legumes (%)	9	12	21	16	30	42
- Gramineae (%)	78	78	68	80	67	54
- Others (%)	13	10	11	4	3	4
Year 6						
- Legumes (%)	7	12	14	15	18	18
- Gramineae (%)	74	69	61	69	67	66
- Others (%)	19	19	25	16	15	16

Table 4. Sward characteristics and grass chemical composition of permanent pastures grazed rotationally by dairy cows and in set stocking by growing-fattening bulls at three levels of intensification differing by fertilizer N inputs and stocking rate.

	Dairy cows				Bulls			
	3/3 N	2/3 N	0 N	Syx	3/3 N	2/3 N	0 N	Syx
Grass height (cm)								
- in	11.9 a	11.2 ab	10.6 b	3.3	6.2	7.1	8.6	2.3
- out	4.3	4.1	4.2	0.9				
Refusal prop. (%)	10.0	9.2	10.0	5.3	10.4	12.7	12.6	8.1
Composition								
DM (%)	17.1	17.4	17.5	4.3	17.1	16.8	16.5	5.1
Ash (%)	105.6 a	110.1 ab	114.1 b	1.6	11.7	11.6	11.3	1.0
ADF (g/kg DM)	218.6	218.4	214.4	1.7	229	230	226	1.3
CP (g/kg DM)	201.8	199.8	202.0	3.1	210.2	210.8	203.0	33.2
Soluble N(% CP)	32.4	33.1	31.8	4.9	32.7	32.0	31.4	6.2
Sol Prot. N. (% CP)	9.8	10.5	10.3	2.7	9.4	9.4	8.4	3.0
NH₃ (% CP)	2.1	2.2	2.3	0.5	1.4	1.5	1.5	0.3
NO₃⁻ (% CP)	9.5 a	8.7 ab	7.2 b	2.4	8.7	7.2	6.8	2.8
K (g/kg DM)	33.10	33.02	32.20	5.4	36.86	37.10	34.19	4.35
P (g/kg DM)	3.80	3.89	3.96	0.7	4.40	4.28	4.11	0.49
Na (g/kg DM)	0.98 a	0.88 ab	0.80 b	0.3	0.79 a	0.67 b	0.62 b	0.16
Mg (g/kg DM)	2.23	2.22	2.27	0.3	2.03	1.99	1.99	0.21
Ca (g/kg DM)	6.54 a	7.41 a	8.79 b	1.9	7.24 a	7.35 a	8.37 b	1.17

DM : dry matter

CP : crude protein

Averages with different letters are significantly different at P<0.05.

Table 5. Performances, nitrogen excretion per ha and plasma and milk urea concentration of dairy cows grazing rotationally and growing-fattening bulls grazing in set stocking on permanent pastures at three levels of intensification differing by fertilizer N inputs and stocking rate.

	Dairy cows				Bulls			
	3/3 N	2/3 N	0 N	Syx	3/3 N	2/3 N	0 N	Syx
4% fat milk yield (kg)	8430 a	8434 a	6783 b	425	-	-	-	
Fat yield (kg)	317 a	323 a	255 b	17	-	-	-	
Protein yield (kg)	287 a	288 a	222 b	15	-	-	-	
Liveweight gain (kg)	126	133	106	79	903 a	895 a	629 b	87
Concentrate intake (kg)	1018	1029	762	323	854	861	836	207
Grazing days (d)	562 a	562 a	423 b	12	868 a	868 a	579 b	39
N excretion (kg/ha)	112 a	109 a	80 b	5	117 a	116 a	79 b	15
Plasma urea (mg N/l)	166 a	162 ab	151 b	75	208 a	214 a	191 b	57
Milk urea (mg N/l)	198 a	189 ab	175 b	74	-	-	-	

Averages with different letters are significantly different at $P < 0.05$.

Table 6. Nitrogen balance per ha (kg N/ha) of permanent pastures grazed rotationally by dairy cows and in set stocking by growing-fattening bulls at three levels of intensification differing by fertilizer N inputs and stocking rate.

	Dairy cows			Bulls		
	3/3 N	2/3 N	0 N	3/3 N	2/3 N	0 N
Atmospheric nitrogen	35	35	35	35	35	35
N from fertilizer	136	91	0	140	93	3
N fixed by legumines	30	43	53	56	64	54
N from concentrate	21	21	16	16	16	11
<i>Total input</i>	222	190	104	237	208	103
N in milk	44	44	35	-	-	-
N in liveweight gain	3	3	3	22	21	15
<i>Total output</i>	47	47	38	22	21	15
<i>Balance</i>¹	175	143	66	215	187	88
<i>Efficiency (%)</i>²	21	25	37	9	10	15
<i>Volatilisation</i>	22	19	11	23	20	11
<i>N losses denitrification</i>	27	24	15	28	24	15
<i>Leaching</i>	45	36	22	47	38	22

1 : Balance = Input – Output.

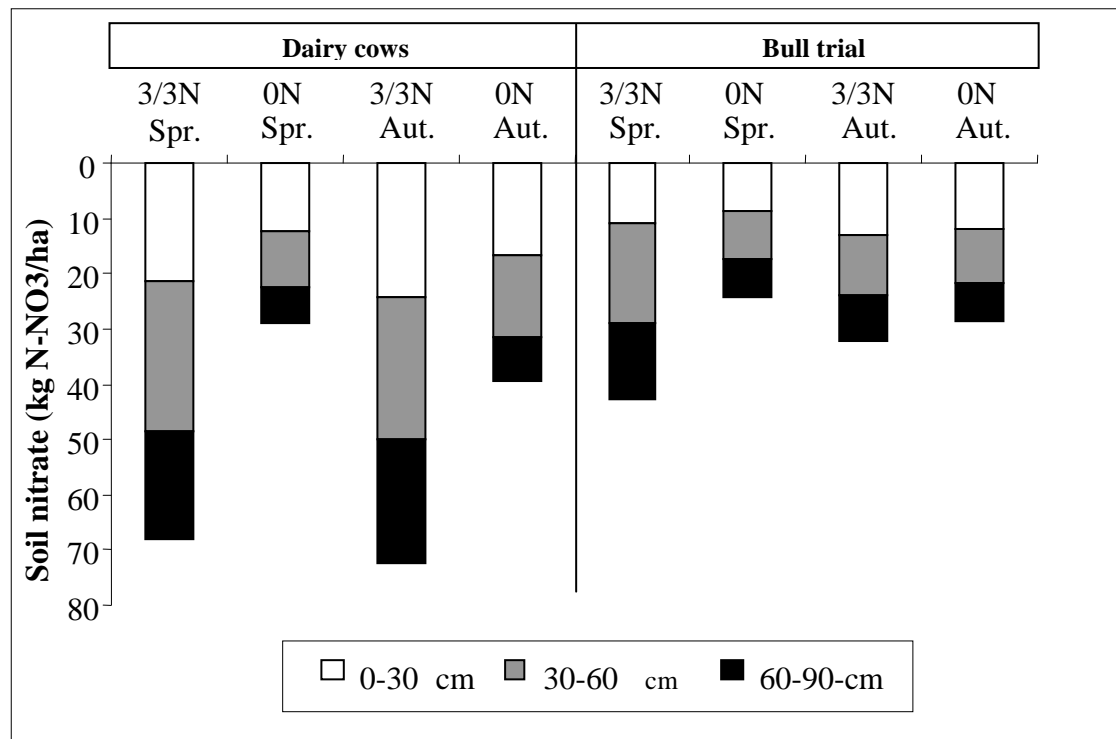
2 : Efficiency = Output / Input.

Table 7. Amount of nitrate (mean of Spring and Autumn values; kg N-NO₃/ha) in the soil of permanent pastures grazed rotationally by dairy cows and in set stocking by growing-fattening bulls at three levels of intensification differing by fertilizer N inputs and stocking rate.

Deep	Dairy cows			Bulls		
	3/3 N	0 N	Syx	3/3 N	0 N	Syx
0-30cm	22.7 a	14.4 b	9.6	11.9	10.4	10.1
30-60cm	26.5	12.6	25.6	14.5	9.2	11.1
60-90cm	21.1 a	7.3 b	20.3	11.1	6.9	9.2
0-90 cm	70.3 a	34.3 b	49.6	37.6	26.4	26.9

Averages with different letters are significantly different at $P < 0.05$.

Figure 1. Amounts of nitrate (kg N/ha) during the Spring and Autumn in the soil of permanent pastures grazed rotationally by dairy cows and in set stocking by growing-fattening bulls at three levels of intensification differing by fertilizer N inputs and stocking rate.



III. TROISIEME PARTIE : Discussion Intégrée et Conclusions Générales

8.-DISCUSSION INTEGREE

8.1.- Introduction.

La discussion intégrée reprend les schémas expérimentaux et les résultats les plus importants de l'étude. Ils sont présentés pour les trois catégories d'animaux étudiés, les vaches allaitantes et leurs veaux, les vaches laitières et les taurillons, et pour chacun des trois niveaux d'intensification. Les résultats sont divisés en récapitulatifs des résultats phytotechniques, des résultats de production animale et des bilans et reliquats azotés. Les résultats phytotechniques comprennent la production, la composition botanique, la hauteur de l'herbe et la composition chimique de l'herbe. Les résultats de production animale sont focalisés sur les productions par ha et individuelles, la qualité des produits et les teneurs en urée plasmatique. Quant à la partie relative aux bilans et reliquats azotés, elle s'intéresse à l'efficacité d'utilisation de l'azote, aux bilans azotés et aux reliquats azotés déterminés par les nitrates dans le sol. L'azote joue en effet un rôle essentiel sur la production végétale; il peut limiter la croissance animale et végétale ou représenter un polluant pour l'environnement sous forme de nitrate et d'ammoniac.

8.2.- Schémas expérimentaux.

Dans l'essai I (vaches allaitantes), la mise à l'herbe a commencé à la fin du mois d'avril et s'est terminée au cours du mois d'octobre, après en moyenne 168 jours de pâturage effectif pour les vaches et 121 jours pour les veaux. Le système de pâturage continu a été employé.

La mise à l'herbe dans l'essai II (vaches laitières) a eu lieu entre la fin du mois d'avril et le début du mois de mai. La période de pâturage a duré en moyenne 168 jours et le système de pâturage en rotation était appliqué. Le temps de séjour moyen par parcelle a été de 6,5 jours dans les lots 3/3 N et 2/3 N et de 7,2 jours dans le lot 0 N.

Le pâturage dans l'essai III (taureaux) a commencé en général au début du mois de mai et s'est terminé à la fin du mois de septembre, après en moyenne 145 jours de pâturage avec un système de pâturage continu.

Pendant l'essai au pâturage, les vaches allaitantes ont reçu de l'ensilage d'herbe en quantité égale durant certaines périodes, pour compléter des productions d'herbe insuffisante (185 kg matière fraîche (MF)/ha/année en moyenne pour les trois traitements) et les veaux ont reçu un complément composé d'un mélange de commerce (des céréales floconnées, du son, de la luzerne déshydratée et du tourteau de lin; 75 kg MF/ha/année en moyenne pour les trois traitements).

Les vaches laitières ont été complétées avec 50% de pulpes séchées de betterave et 50% d'orge aplatie (1023 kg MF/ha/année pour les traitements avec fertilisation azotée et 762 kg MF/ha/année pour le traitement 0 N) et de l'ensilage de maïs (426 kg MF/ha/année pour les traitements avec fertilisation azotée et 320 kg MF/ha/année pour le traitement 0 N). Les taureaux au pâturage ont reçu une complémentation composée de 50% de pulpes séchées de betterave et 50% d'orge aplatie (507 kg MF/ha/année pour les lots avec fertilisation azotée et 380 kg MF/ha/année pour le lot 0 N).

Tous les essais ont étudié l'effet de la désintensification de la production en réduisant d'un tiers la fertilisation azotée conventionnelle (3/3 N vs 2/3 N) et par rapport à un système désintensifié (0 N). Le chargement a été ajusté au niveau de la présence ou l'absence de fumure azotée, c'est-à-dire les traitements 3/3 N et 2/3 N ont eu le même chargement par rapport au traitement 0 N. Ces protocoles permettent d'étudier simultanément des effets du niveau de fertilisation (3/3 N vs 2/3 N) et du niveau d'intensification du système (3/3 et 2/3 N vs 0 N).

Le tableau 21 résume les protocoles d'essai des études réalisés sur les vaches allaitantes et leurs veaux, les vaches laitières et les taureaux avec les trois niveaux d'intensification étudiés. Les valeurs correspondent aux moyennes des six années d'étude.

Tableau 21 : Récapitulatif des protocoles d'essai des trois niveaux d'intensification (3/3 N, 2/3 N et 0 N) et pour les trois catégories d'animaux (vaches allaitantes et veaux, vaches laitières et taureaux).

ESSAI	VARIABLE	3/3 N	2/3 N	0 N
I. Vaches allaitantes	Système de pâturage	Continu		
	Fertilisation (kg N/ha/an)*	202	135	0
	Chargement (animaux/ha) :			
	- Vaches	4,10	4,10	2,85
	- Veaux	3,70	3,70	2,62
	Poids Vif Initial (kg) :			
- Vaches	579	575	576	
- Veaux	112	113	113	
	Jours Vêlage – Début d'essai	84	84	86
II. Vaches laitières	Système de pâturage	Tournant		
	Fertilisation (kg N/ha/an)*	136	91	0
	Chargement (animaux/ha)	3,35	3,35	2,51
	Poids Vif Initial (kg)	538	535	536
	Jours de lactation au début d'essai	59	60	59
	Production initiale du lait (kg/j)	22,0	21,8	22,4
III. Taureaux	Système de pâturage	Continu		
	Fertilisation (kg N/ha/an)*	140	93	3
	Chargement (têtes/ha)	6	6	4
	Poids Vif Initial (kg)	293	294	293

* La fumure azotée a été apportée sous forme de nitrate d'ammonium à 27% d'azote par kg de fertilisant.

8.3.- Récapitulatif des résultats.

8.3.1.-Récapitulatif des résultats phytotechniques.

8.3.1.1.- Production primaire des prairies, composition botanique, hauteur de l'herbe et refus.

La production primaire de la prairie a été calculée uniquement la première année pour les parcelles pâturées par les vaches laitières (essai II), cependant les résultats illustrent l'effet attendu du niveau d'intensification de la production. Les valeurs de production primaire ont été de 11 728, 11 454 et 9 643 kg MS/ha par les traitements 3/3 N, 2/3 N et 0 N respectivement. La réponse en terme de kg MS/ha par kg d'azote appliqué a été de 20 kg MS/kg N entre les traitements 0 N et 2/3 N et de 15 kg MS/kg N entre les traitements 0 N et 3/3 N. Le supplément d'azote entre les traitements 2/3 N et 3/3 N n'a permis qu'une réponse

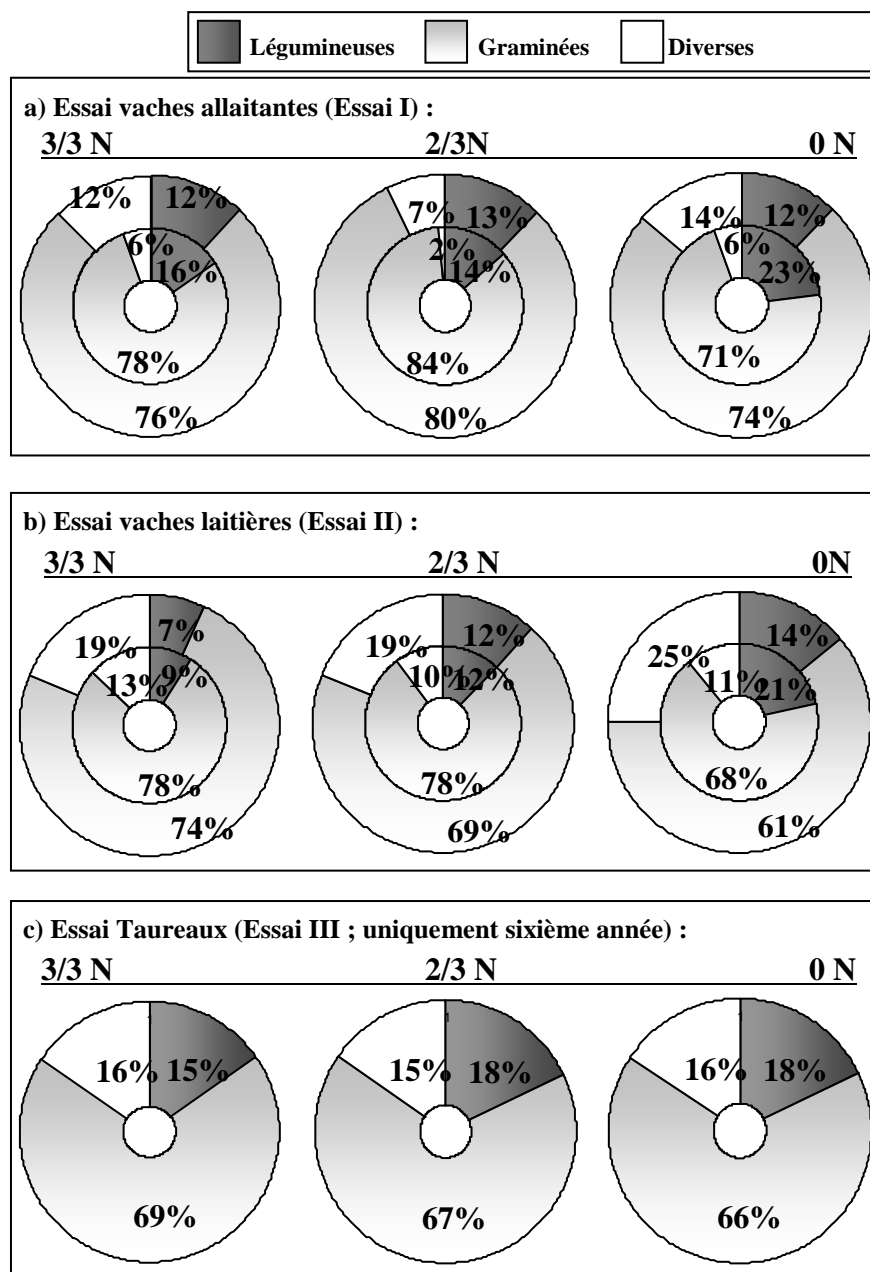
de 6 kg MS/kg N. Ces chiffres peuvent être comparés aux résultats obtenus par Frame et Boyd (1987) sur des prairies composées aussi de ray grass et de trèfle blanc fertilisées avec 0, 120, 240 kg N/ha. Les réponses obtenues par ces auteurs ont été de 7,3 et 9,0 kg MS herbe/kg N appliqué, par rapport à une production de 7 800 kg MS/ha pour le traitement 0 N. Prins (1984) a rapporté une réponse de 7,5 kg MS/kg N appliqué et une augmentation linéaire de la production primaire de la prairie entre 0 et 420 kg N par ha appliqué. Au-delà de 420 kg N, la production atteint un plateau.

La figure 30 présente la composition botanique des prairies dans les trois études réalisées (vaches allaitantes, vaches laitières et taureaux, respectivement). Bien que les doses de fertilisant appliquées dans le traitement 3/3 N des essais I et III n'aient pas été très élevées, des différences de composition botanique ont été observées entre les niveaux d'intensification.

En comparant les essais I et II (Figure 30), on observe une augmentation du pourcentage des plantes diverses de la première à la sixième année d'essai pour les trois traitements. Cette augmentation des plantes diverses, au détriment des légumineuses, a été plus marquée dans les traitements 3/3 N et 0 N par rapport au 2/3 N. Dans le traitement 2/3 N, la proportion des légumineuses entre la première et la sixième année d'essai a été stable, la proportion des plantes diverses a augmenté tandis que la proportion de graminées a diminué.

Une fertilisation azotée élevée conjuguée à un chargement élevé peut entraîner une diminution du pourcentage des légumineuses ; celles-ci sont en effet moins compétitives en présence d'azote provenant de la fertilisation que les graminées et les plantes diverses (Laidlaw et Steen, 1989). De même, l'absence de fertilisation azotée réduit la compétitivité des graminées productives par rapport à des espèces plus agressives.

Figure 30 : Composition botanique des prairies pâturées par des vaches allaitantes et leurs veaux - Essai I (a), des vaches laitières - Essai II (b) et des taureaux - Essai III (c) selon les trois protocoles de fertilisation et de chargement utilisés. L'anneau intérieur correspond à la première année d'essai et l'anneau extérieur à la sixième.



Le tableau 22 indique les hauteurs moyennes de l'herbe et les pourcentages moyens de refus dans les prairies pâturées par des vaches allaitantes et leurs veaux, les vaches laitières et les taureaux pendant les 6 années d'essai.

Les systèmes de pâturage employés ont été le système en rotation pour les vaches laitières et continu pour les vaches allaitantes et les taureaux. On ne peut donc comparer dans l'absolu les hauteurs d'herbe. Dans les essais exploités en continu, les hauteurs ont toujours été plus élevées chez les taureaux (essai III). Ces hauteurs d'herbe ont été en accord avec les recommandations de Hodgson (1990) pour un système de pâturage en continu, qui propose des hauteurs d'herbe de 7 à 9 cm. Dans l'essai I, les hauteurs d'herbe ont été relativement faibles. En fait, les animaux ont été complémentés avec de l'ensilage de maïs pendant certaines périodes de carence d'herbe. Chez les vaches laitières, Hoden *et al.* (1991) ont constaté qu'une hauteur d'herbe de 5-6 cm à la sortie, comme celles relevées dans l'essai II, n'était pas limitante pour la production laitière individuelle.

Des différences significatives entre années ont été observées pour les trois essais pour les hauteurs et les refus. Les différences entre années sont liées à la croissance de l'herbe, elle-même dépendant des conditions climatiques.

Dans l'essai II, les hauteurs moyennes de l'herbe à l'entrée ont été plus élevées avec le traitement 0 N. Il en va de même pour l'essai III. La différence entre les traitements 2/3 N et 3/3 N a été significative uniquement dans l'essai II, les hauteurs d'herbe à l'entrée ayant été plus élevées avec le traitement 3/3 N. Cela peut être associé à la fertilisation azotée plus élevée (Delaby et Peyraud, 1998). A la sortie des parcelles, les hauteurs d'herbe ont été similaires entre traitements, le pâturage étant géré de la même façon.

La réduction d'un tiers de la fertilisation (2/3 vs 3/3 N) a finalement eu peu d'influence sur les hauteurs d'herbe. L'absence de fertilisation azotée peut être considérée comme une option si le chargement est adapté.

Des différences significatives ont été constatées entre les années d'essai pour les pourcentages de refus, mais il n'y a pas eu d'interaction année-traitement. Aucune différence significative due aux traitements n'a été observée, le pâturage ayant été géré de manière à assurer une bonne utilisation de l'herbe. Pour les essais sur pâturage continu, on peut associer les plus grandes valeurs de hauteurs d'herbe avec les pourcentages de refus plus élevés, comme c'est le cas dans le lot 0 N. Il est probable que les animaux ayant une plus grande quantité d'herbe disponible ont la possibilité de sélectionner l'herbe.

Tableau 22 : Hauteur d'herbe et pourcentage de refus des prairies pâturées par des vaches allaitantes et leurs veaux (Essai I ; pâturage continu), des vaches laitières (Essai II ; pâturage tournant) et des taureaux (Essai III ; pâturage continu) selon les trois protocoles de fertilisation et de chargement utilisés.

VARIABLE		TRAITEMENT			ETP	Effet		
		3/3 N	2/3 N	0 N		T	A	TxA
Essai I	HP (cm)	4,4	4,6	5,2	2,3	NS	*	NS
	Refus (%)	11,0	11,3	14,7	12,3	NS	*	NS
Essai II	HP entrée (cm)	11,9	11,2	10,6	3,3	*	*	NS
	HP sortie (cm)	4,3	4,1	4,2	0,9	NS	*	NS
	Refus (%)	10,0	9,2	10,0	5,3	NS	*	NS
Essai III	HP (cm)	6,2	7,1	8,6	2,3	*	*	*
	Refus (%)	10,4	12,7	12,6	8,1	NS	*	NS

HP : Hauteur du pâturage. ETP : Ecart Type Poolé. Effet T : Traitement, A : Année, TxA : interaction Traitement x Année. NS : pas des différences statistiques. * : P<0,05

8.3.1.2.-Composition chimique de l'herbe.

La composition chimique de l'herbe des trois niveaux d'intensification pour les trois études réalisées est présentée au tableau 23. Aucune différence significative due aux traitements n'a été constatée. Il est normalement rapporté une augmentation de la teneur en matière azotée et une diminution de la teneur en matière sèche de l'herbe des graminées en présence de fertilisation azotée (Demarquilly, 1977). Cependant, le trèfle présent dans les prairies a vraisemblablement compensé l'effet de la fertilisation sur la teneur en azote de l'herbe ainsi que les variations de la teneur en matière sèche (Delaby et Peyraud, 1998).

Tableau 23 : Pourcentage de matière sèche, azote total, cellulose et cendres de l'herbe des prairies pâturées par des vaches allaitantes et leurs veaux (Essai I), des vaches laitières (Essai II) et des taureaux (Essai III) selon les trois protocoles de fertilisation et de chargement utilisés.

VARIABLE	TRAITEMENT			ETP	Effet			
	3/3 N	2/3 N	0 N		T	A	TxA	
Essai I	MS (%)	15,85	17,06	16,98	4,60	NS	NS	NS
	NTOT (%MS)	20,13	20,75	21,80	3,45	NS	NS	NS
	CEL (%MS)	22,06	22,20	22,50	1,71	NS	*	NS
	ENN (%MS)	46,59	46,27	45,30	4,89	NS	NS	NS
	CEN (%MS)	11,54	11,28	11,18	1,18	NS	*	NS
Essai II	MS (%)	16,98	17,00	16,90	4,02	NS	NS	NS
	NTOT (%MS)	19,19	19,01	19,13	2,95	NS	NS	NS
	CEL (%MS)	21,86	21,84	21,44	1,75	NS	NS	NS
	ENN (%MS)	48,20	48,49	48,46	3,94	NS	*	NS
	CEN (%MS)	11,07	11,13	11,10	1,17	NS	NS	NS
Essai III	MS (%)	17,05	16,74	16,54	5,23	NS	*	NS
	NTOT (%MS)	21,16	21,36	19,87	3,19	NS	*	NS
	CEL (%MS)	22,92	22,97	22,62	1,30	NS	NS	NS
	ENN (%MS)	44,52	44,64	46,32	4,32	NS	*	NS
	CEN (%MS)	11,65	11,61	11,29	1,07	NS	*	NS

MS : matière sèche ; NTOT : azote total ; CEL : cellulose ; ENN : extractif non azoté ; CEN : cendres. ETP : Ecart Type Poolé. Effet T : Traitement, A : Année, TxA : interaction Traitement x Année. NS : pas des différences statistiques. * : P<0,05

Le tableau 24 montre la proportion des fractions azotées de l'herbe des trois essais. Les fractions azotées ont varié entre années, mais aucune différence due au niveau d'intensification n'a été constatée, sauf pour la proportion de nitrate dans l'essai II. L'azote soluble a constitué la majeure proportion de la fraction azotée, avec des moyennes stables entre traitements et essais ; il s'est réparti en deux tiers d'azote non protéique et un tiers d'azote protéique. L'ammonium a été relativement stable entre les traitements, avec des moyennes plus élevées pour les traitements 3/3 N des essais I et III et pour le traitement 0 N de l'essai II. La proportion de nitrate a été plus élevée pour les traitements intensifs dans les trois essais avec des différences significatives dans l'essai II. D'après Demarquilly (1977), on peut s'attendre à une augmentation de l'azote total de l'herbe des graminées avec la fertilisation azotée, cette augmentation s'accompagnant le plus souvent d'une augmentation de la proportion d'azote protéique soluble et plus particulièrement des nitrates.

Dans les présents essais, les teneurs en nitrates ont eu une tendance à être plus élevées dans le traitement 3/3 N par rapport au traitement 0 N. L'effet de la fumure n'a pas été aussi important qu'attendu car les prairies utilisées comprenaient du trèfle, légumineuse riche en matière azotée protéique, capable de fixer l'azote atmosphérique et favorisée par des apports faibles ou nul d'azote. Comme pour les teneurs en azote total, la présence de trèfle a probablement limité les effets de la réduction de la fumure azotée.

Tableau 24 : Fraction azotée de l'herbe des prairies pâturées par des vaches allaitantes et leurs veaux (Essai I), des vaches laitières (Essai II) et des taureaux (Essai III) selon les trois protocoles de fertilisation et chargement utilisés.

	FRACTION (% NTot)	TRAITEMENT			ETP	Effet		
		3/3 N	2/3 N	0 N		T	A	TxA
Essai I	NSOL	31,82	31,80	32,13	5,65	NS	*	NS
	NPNSOL	23,48	23,26	22,38	5,02	NS	*	NS
	NPRSOL	8,34	8,54	9,75	2,98	NS	*	NS
	NH3	1,77	1,61	1,59	0,97	NS	*	NS
	NO3	7,53	8,48	7,13	4,87	NS	*	NS
Essai II	NSOL	32,42	33,12	31,75	8,11	NS	*	NS
	NPNSOL	22,66	22,67	21,55	6,22	NS	*	NS
	NPRSOL	9,75	10,49	10,33	3,21	NS	*	NS
	NH3	2,13	2,25	2,27	1,73	NS	*	NS
	NO3	9,49	8,73	7,22	3,10	*	*	NS
Essai III	NSOL	31,35	32,04	32,67	6,82	NS	*	NS
	NPNSOL	22,86	22,67	23,31	5,32	NS	*	NS
	NPRSOL	8,44	9,37	9,36	3,04	NS	NS	NS
	NH3	1,52	1,50	1,42	0,85	NS	*	NS
	NO3	8,69	7,25	6,77	5,12	NS	*	*

NSOL : Azote soluble ; NPN : azote non protéique ; NPRSOL : azote protéique soluble ; NH3 : ammonium ; NO3 : nitrate.

Effet T : Traitement, A : Année, TxA : interaction Traitement x Année. NS : pas de différences statistiques. * : P<0,05.

Le tableau 25 présente la composition minérale de l'herbe pour les trois essais avec les trois niveaux d'intensification du système.

Tableau 25 : Pourcentage de calcium, potassium, phosphore, sodium et magnésium de l'herbe des prairies pâturées par des vaches allaitantes et leurs veaux (Essai I), des vaches laitières (Essai II) et des taureaux (Essai III) selon les trois protocoles de fertilisation et de chargement utilisés.

	MINÉRAL (g/ kg MS)	TRAITEMENT			ETP	Effet		
		3/3 N	2/3 N	0 N		T	A	TxA
Essai I	Ca	5,9	5,8	7,1	1,24	*	NS	NS
	K	33,3	35,6	34,9	5,86	NS	NS	NS
	P	4,2	4,2	4,4	0,74	NS	NS	NS
	Na	1,4	1,0	0,9	0,41	*	*	NS
	Mg	2,3	2,2	2,3	0,38	NS	*	NS
Essai II	Ca	6,54	7,41	8,79	1,94	NS	*	*
	K	33,10	33,02	32,20	5,4	NS	*	NS
	P	3,80	3,89	3,96	0,70	NS	*	NS
	Na	0,98	0,88	0,80	0,98	NS	*	*
	Mg	2,23	2,22	2,27	0,30	NS	*	NS
Essai III	Ca	7,24	7,35	8,37	1,17	*	*	NS
	K	36,86	37,10	34,19	4,35	NS	*	NS
	P	4,40	4,28	4,11	0,49	NS	NS	NS
	Na	0,79	0,67	0,62	0,16	*	*	NS
	Mg	2,03	1,99	1,99	0,21	NS	*	NS

ETP : Ecart Type Poolé. Effet T : Traitement, A : Année, TxA : interaction Traitement x Année. NS : pas des différences statistiques. * : P<0,05

Les teneurs en calcium dans l'essai I et en sodium dans les essais I et III ont présenté des différences significatives selon le niveau d'intensification. Ces résultats peuvent être associés indirectement à des effets de la fertilisation sur la composition botanique de la prairie. La teneur en calcium est généralement réduite avec la fumure azotée, tandis que la teneur en sodium est augmentée. L'effet de la fertilisation azotée sur les teneurs en phosphore et en potassium de l'herbe est assez variable selon la bibliographie, cependant il est rapporté une augmentation de la teneur en magnésium avec l'application d'azote (Yiakoumettis et Holmes, 1972 ; Hood, 1976 ; Stockdale et King, 1980 ; Hemingway, 1999).

8.3.2.-Récapitulatif des résultats de production animale.

8.3.2.1.-Production à l'hectare et production individuelle.

Les figures 31a, b, et c présentent les productions individuelles et par hectare des essais I (vaches allaitantes et leurs veaux), essai II (vaches laitières) et essai III (taureaux), respectivement.

Les résultats ont été différents selon les essais. Les gains de poids/ha et individuels des vaches allaitantes dans l'essai I (figure 31a) ont été plus élevés dans le traitement 0 N (environ 5 fois par rapport au traitement 3/3 N et 3 fois par rapport au traitement 2/3 N). Par contre, les gains de poids/ha des veaux ont augmenté avec le niveau de chargement. Si on considère une base 100 pour le lot 3/3 N, les gains du poids vif à l'hectare des lots 2/3 N et 0 N ont été de 101 et 74 %. Par contre les gains individuels ont été similaires entre les traitements. Petit et Muller (1980) rapportent l'existence d'une relation directe entre les gains des veaux et la production laitière des mères. Dans l'essai I, les gains des veaux ont été identiques et l'ingestion de complément a peu varié d'un lot à l'autre. Il apparaîtrait donc logique que la production laitière ait été identique, les vaches des lots 3/3 N et 2/3 N ayant probablement mobilisé leurs réserves afin d'alimenter leurs veaux.

Dans l'essai II (vaches laitières ; figure 31b) la production du lait/ha a été directement liée au niveau du chargement. Avec une base 100 pour le traitement 3/3 N, la production par hectare a été de 100 et 80 % pour les traitements 2/3 N et 0 N. Par contre, la production laitière individuelle a été légèrement plus élevée dans le traitement 0 N.

Pour l'essai III (taureaux; figure 31c), les productions par hectare ont également suivi le niveau de chargement avec des gains individuels semblables entre les traitements. Les gains à l'hectare ont été 99 et 70 % dans les traitements 2/3 N et 0 N tandis que les gains de poids vif individuels ont été de 99 et 104 % pour les traitements 2/3 N et 0 N par rapport au traitement 3/3 N (100%).

D'après ces résultats, on peut conclure que la production laitière (essai II) et le gain de poids (essai III) individuels peuvent être maintenus et même augmentés dans un système désintensifié si le chargement est ajusté. Par contre, les productions par hectare sont plus faibles.

Figure 31a : Gain de poids vif par hectare et gain individuel des vaches allaitantes et leur veaux pour les trois niveaux d'intensification étudiés (ESSAI I)

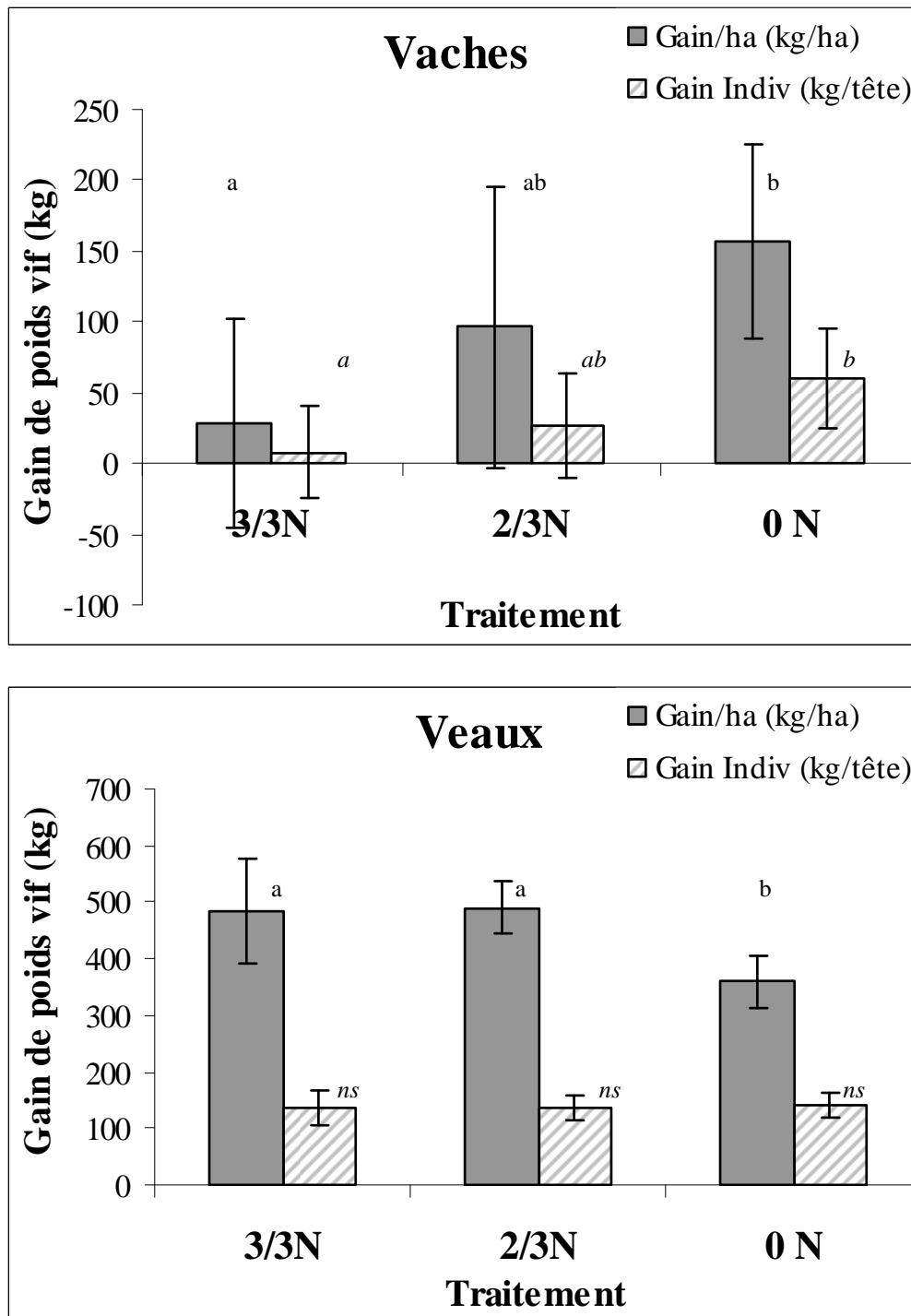


Figure 31b : Production laitière par hectare et production individuelle des vaches laitières pour les trois niveaux d'intensification étudiés (ESSAI II).

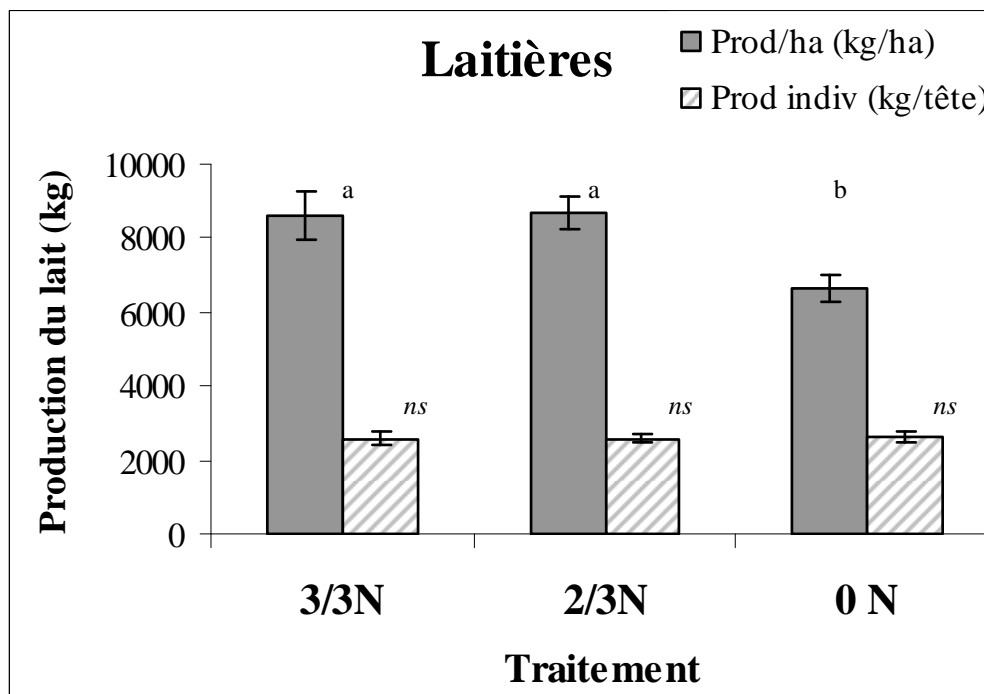
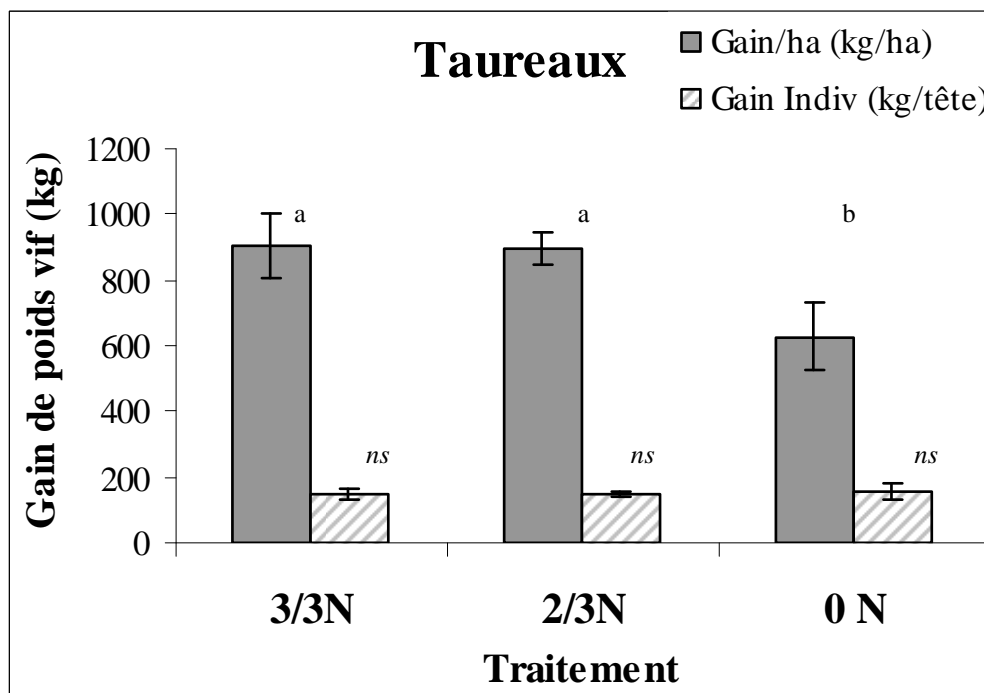


Figure 31c : Gain de poids vif par hectare et gain individuel des taureaux pour les trois niveaux d'intensification étudiés (ESSAI III).



Moyennes \pm Ecart Type ; des lettres différentes indiquent des différences statistiques au seuil de 5% ; ns : pas des différences statistiques.

8.3.2.2.-Qualité des produits.

Comme la production des animaux a différencié selon les essais, il convient d'envisager la qualité des produits séparément pour chacun des essais.

Essai I : Vaches allaitantes.

Dans cet essai aucune mesure de qualité des produits n'a été réalisée.

Essai II : Vaches laitières.

Le taux protéique n'a pas été affecté par le niveau d'intensification de la production (valeur moyenne des trois traitements : 3,3 %).

Le taux butyreux moyen a été significativement plus élevée dans le traitement 0 N par rapport aux traitements 3/3 N et 2/3 N. Ces derniers ont été similaires (4,10 vs 3,90 et 3,91 %, pour les traitements 0 N, 2/3 N et 3/3 N respectivement ; $P < 0,05$).

Le nombre de cellules dans le lait n'a pas été affecté par les traitements, cependant le traitement 0 N a présenté des valeurs plus faibles (158, 210 et 198 pour les traitements 0 N, 2/3 N et 3/3 N respectivement ; Écart Type Polé : 350, $P > 0,05$). Une grande variabilité interannuelle et entre animaux a été constatée.

Le taux protéique peut varier selon les protocoles de fertilisation azotée (Delaby et Peyraud, 1998), mais avec une teneur en matière azotée de l'herbe semblable entre traitements et la présence de trèfle sur les prairies, l'effet de l'intensification du système n'a pas été évident dans le présent essai. De même, le taux butyreux peut être influencée par la ration, cependant le niveau d'intensification semble ne pas affecter la teneur en matière grasse du lait. Cependant, Harris *et al.* (1998) ont rapporté une augmentation du taux butyreux du lait avec une augmentation de la consommation du trèfle, ce qui peut expliquer partiellement les résultats obtenus dans le présent essai.

La teneur en urée dans le lait a été significativement plus faible dans le traitement désintensifié par rapport au traitement 3/3 N (175, 189 et 198 mg/l pour les traitements 0 N, 2/3 N et 3/3 N respectivement ; $P < 0,05$). La diminution de la fertilisation minérale réduit normalement la teneur en urée du lait. Or, celle-ci peut affecter négativement la coagulation du lait (Hood, 1976). Martin *et al.* (1997) ont observé que l'acidification du lait est plus lente quand les teneurs en urée sont élevées. Les caractéristiques sensorielles des fromages peuvent donc être affectées. De ce point de vue, la réduction de la fertilisation azotée peut être défavorable, mais il faut considérer la réduction de l'urée du lait comme une conséquence et pas un but de l'extensification. Par contre, la diminution des teneurs en urée présente un impact environnemental positif. L'intérêt de la réduction de l'impact environnemental reste alors plus important (voir points 8.3.2.3 et 8.3.3.).

Essai III : Taureaux.

Le poids moyen des carcasses (349,7 kg) et le rendement moyen (61,9 %) des carcasses ont été similaires entre traitements et par rapport au lot témoin fini en stabulation. De même, le pH et la température des carcasses 1, 2, 4 et 48 heures après l'abattage n'ont pas été affectés par le niveau d'intensification ni par l'inclusion d'une période de pâturage.

La teneur en matière sèche de la viande (24,1 %) n'a pas été affectée par les traitements. Il en a été de même pour les teneurs en protéines (90,5 %MS), en extractif étheré (3,54 %MS), en extractif non azoté ($1,05 \pm 2,46$ %MS) et en matière organique (95,3 % MS). Cependant, le pourcentage de cendres a été plus élevé dans le traitement 3/3 N (5,04 vs 4,69 %MS pour le traitement 3/3 N vs les autres traitements et le lot engraisé en stabulation ; $P < 0,05$). La couleur jaune de la viande n'a pas été affectée par le niveau d'intensification et n'a pas été différente par rapport au lot témoin (17,21 b*). De même, ni les pertes en eau par écoulement (0,057 %), ni la force de cisaillement Warner-Bratzler (38,2 Newtons) n'ont été affectées par le niveau d'intensification ou par l'inclusion d'une période de pâturage dans le système de production.

Les carcasses des animaux soumis au pâturage ont normalement une plus faible proportion de tissu gras et sont plus légères par rapport aux animaux nourris à base de concentré (Camfield *et al.*, 1999). Cette réduction de la teneur en graisse peut réduire la tendreté de la viande, le temps de congélation et entraîner une chute plus lente du pH (Berry *et al.*, 1988). La luminosité de la viande issue d'animaux au pâturage peut être réduite. L'effet du système de

production sur la couleur et la flaveur des viandes bovines semble significatif, cependant les facteurs explicatifs de ces phénomènes restent encore mal connus (Priolo *et al.*, 2000). La luminosité n'a pas été influencée par le niveau d'intensification, cependant, le lot témoin fini en stabulation a présenté des valeurs plus élevées (42,20 vs 44,15 L* pour le lot témoin vs les trois traitements en prairie). La viande des lots 2/3 N a été significativement plus rouge que celles des taurillons du lot témoin (18,26 vs 17,00; $P < 0,05$). Les valeurs relevées pour le lot 3/3 N et 0 N ont été intermédiaires (17,23 et 18,00).

Les pertes en eau à la cuisson ont été significativement plus faibles dans le lot témoin que dans le lot 3/3 N (28,3 vs 30,5% ; $P < 0,05$). Les pertes en eau ont été intermédiaires dans les traitements 0 N et 3/3 N (29,4 et 30,2% respectivement).

Les profils en acides gras dans les graisses sous cutanées, intermusculaires et intramusculaires des traitements 3/3 N et du lot témoin ont été comparés. Il en ressort que la graisse sous cutanée a présenté des différences significatives avec une proportion plus faible de C14:0 (3,2 vs 4,1%) et C18:2 (2,7 vs 4,8%) et une proportion plus élevée de C18:0 (19,1 vs 15,5%) dans le traitement 3/3 N. La proportion des acides gras de la graisse intermusculaire n'a pas été affectée par l'inclusion d'une période de pâturage, excepté une proportion plus faible de C18:2 dans le traitement 3/3 N (2,7 vs 5,2%). Dans le tissu gras intramusculaire des taurillons du traitement 3/3 N, la proportion de C18:3 a été significativement supérieure à celles des taurillons témoin (2,5 vs 1,5% ; $P < 0,05$). La proportion de C18:3 pourrait dès lors être utilisée comme traceur dans des filières différenciées pour identifier des taurillons qui ont pâture. Ces observations sont conformes à celles de Wood et Enser (1997) qui ont constaté que des taurillons finis au pâturage ont présenté des proportions plus élevées d'acide α -linoléique (18:3n-3) et d'autres acides gras n-3 par rapport aux taurillons finis avec des concentrés. Dans la viande de ces derniers, la proportion d'acide linoléique (18:2n-6) et d'autres acides gras n-6 a été plus importante. Cette différence est attribuée au fait que l'acide linoléique est présent en proportion plus élevée dans l'herbe tandis que les céréales et les oléagineux utilisés dans les concentrés sont plus riches en acide linoléique. La viande des animaux au pâturage offre donc une proportion de n-6/n-3 plus favorable pour la santé humaine.

Tableau 26 : Composition en acides gras dans différents tissus des animaux soumis à une alimentation à base de concentré (Témoin) ou avec une alimentation au pâturage (3/3 N, Essai III).

	SOUS CUTANÉE				INTERMUSCULAIRE				INTRAMUSCULAIRE			
	3/3 N	Témoin	ETP	*	3/3 N	Témoin	ETP	NS	3/3 N	Témoin	ETP	NS
C14:0	3,2	4,1	0,7	*	2,4	2,8	0,5	NS	1,7	2,0	1,0	NS
C16:0	28,7	30,4	3,2	NS	25,1	27,1	2,3	NS	25,7	27,2	4,4	NS
C16:1	3,3	3,6	0,9	NS	1,7	1,5	0,6	NS	1,2	1,5	0,7	NS
C18:0	19,1	15,5	2,6	*	28,0	24,7	3,8	NS	18,8	19,8	3,1	NS
C18:1	42,1	40,5	2,7	NS	39,1	37,6	3,3	NS	36,4	31,9	6,0	NS
C18:2	2,7	4,8	1,0	*	2,7	5,2	0,9	*	13,9	15,7	5,8	NS
C18:3	0,9	0,9	0,2	NS	0,9	1,0	0,2	NS	2,5	1,5	0,7	*

ETP : Ecart Type Poolé.

NS : pas des différences statistiques.

* : P<0,05

8.3.2.3.-Urée plasmatique.

Selon Farrugia et Vérité (1998), l'urée constitue le principal métabolite issu du catabolisme protéique d'un ruminant. Sa concentration dépend principalement de la quantité formée mais aussi de sa vitesse d'excrétion urinaire. Il est intéressant de connaître les teneurs en urée car elles donnent une indication sur le métabolisme azoté et les rejets azotés des animaux; des teneurs en urée élevées dans le plasma se traduisent, en effet, par d'importantes excrétions d'urée dans les urines.

Le tableau 27 présente la concentration moyenne d'urée plasmatique des trois niveaux d'intensification pour les trois catégories d'animaux.

Tableau 27 : Concentration moyenne d'urée plasmatique des vaches allaitantes et leurs veaux (Essai I), des vaches laitières (Essai II) et des taureaux (Essai III) selon les trois protocoles de fertilisation et de chargement utilisés et concentration moyenne d'urée plasmatique pour les trois catégories d'animaux.

	Urée plasmatique (mg/l)				ETP	Effet		
	Traitement					T	A	AxT
	3/3 N	2/3 N	0 N	TS				
Essai I	301,9	278,7	241,7	-	77,4	*	*	NS
Essai II	165,6	162,8	151,1	-	76,6	*	*	*
Essai III	207,7	213,9	190,8	104,9	56,5	*	*	NS

TS : Témoin Stabulation

ETP : Ecart Type Poolé. Effet T : Traitement, A : Année, TxA : interaction Traitement x Année. NS : pas des différences statistiques. * : $P < 0,05$

L'urée plasmatique observée pour les trois essais a été significativement plus élevée dans les traitements 3/3 N que dans le traitement 0 N, les valeurs pour le traitement 2/3 N ayant été intermédiaires. Les taurillons qui ont séjourné en prairie ont eu des teneurs en urée significativement plus élevées que celles du lot témoin engraisés à l'intérieur. Dans des prairies exploitées intensivement où les teneurs en matière azotée dans l'herbe ont été augmentées par l'apport de fertilisation azotée (Decau *et al.*, 1997 ; Delaby *et al.*, 1997) ou par l'augmentation du chargement (Delaby *et al.*, 1998 ; Peyraud et Astigarraga, 1998), il a été constaté que les rejets azotés par les animaux sur la prairie étaient plus élevés. Dans le présent essai, les teneurs élevées en urée dans le plasma des animaux laissent penser que les rejets azotés ont été plus élevés. Cette observation ne doit cependant pas être attribuée à une augmentation des teneurs en matière azotée totale puisque aucune différence significative n'a été mise en évidence. Une augmentation des teneurs en nitrates a été mise en évidence avec le traitement 3/3 N et pourrait expliquer les différences obtenues entre les traitements.

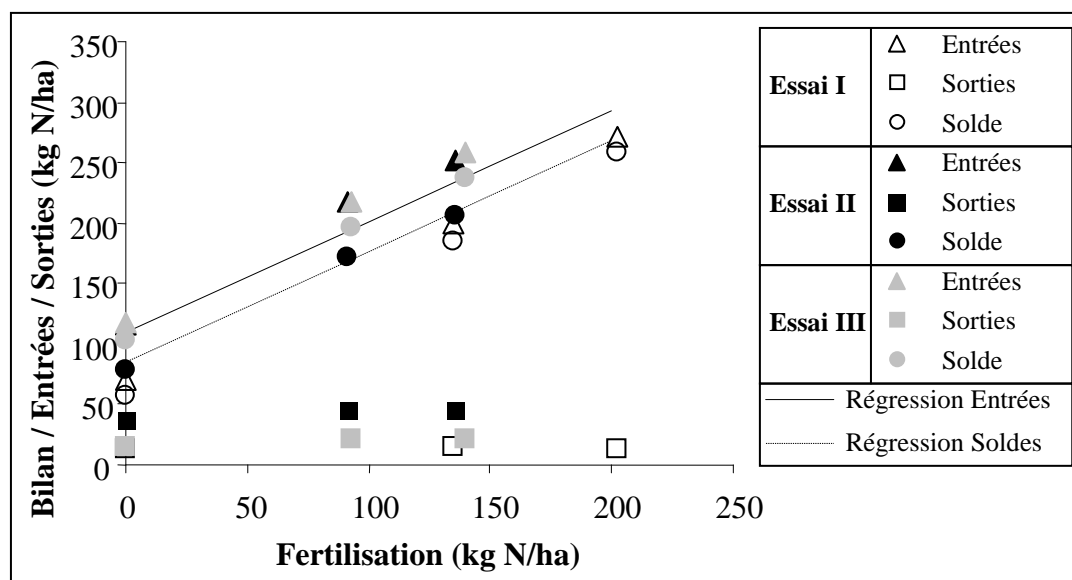
Quant à l'urée du lait (cf. point 8.3.2.2.-Qualité des produits - Essai II : Vaches laitières), elle a été significativement plus faible dans le système désintensifié. On a observé une corrélation significative ($R=74\%$; $P < 0,05$) entre la concentration en urée plasmatique et l'urée du lait. Cette corrélation a été observée dans d'autres études. L'urée dans le lait étant plus facile à prélever et à analyser au sein d'un troupeau, elle se révèle un outil intéressant pour évaluer le métabolisme et estimer les rejets azotés.

8.3.3.-Bilan et reliquats azotés.

8.3.3.1.-Bilan azoté et efficacité d'utilisation d'azote du système.

La figure 32 montre la relation entre le niveau de fertilisation azotée et les composants du bilan azoté (entrées, sorties et solde du bilan).

Figure 32 : Entrées, sorties et solde du bilan azoté du système (kg N/ha) des essais de vaches allaitantes et leurs veaux (Essai I), vaches laitières (Essai II) et taureaux (Essai III) par rapport à la fertilisation azotée appliquée.



En observant les relations calculées entre le niveau de fertilisation azotée d'une part et les entrées et les soldes des bilans azotés d'autre part, il est clair que l'excès d'azote a été directement lié au niveau d'application d'azote minéral. Une corrélation linéaire significative a été calculée entre la fertilisation azotée et les soldes des bilans selon l'équation :

$$\text{Solde du Bilan (Kg N/ha)} = 84,9 + 0,915 \text{ Fertilisation (kg N/ha)} ; R=0,91 (P<0,05).$$

De plus, la corrélation entre les entrées et les soldes du bilan a été aussi significative (Solde des Bilans = $-17,0 + 0,956 \text{ Entrées (kg N/ha)}$; $R=0,96$; $P<0,05$), c'est-à-dire que dans les présents essais, les excès d'azote sont liés directement aux intrants d'azote, les sorties étant

relativement faibles et indépendantes du niveau de fertilisation. Le niveau de fertilisation azotée a été le principal composant des entrées aux systèmes, avec une corrélation représentée par l'équation :

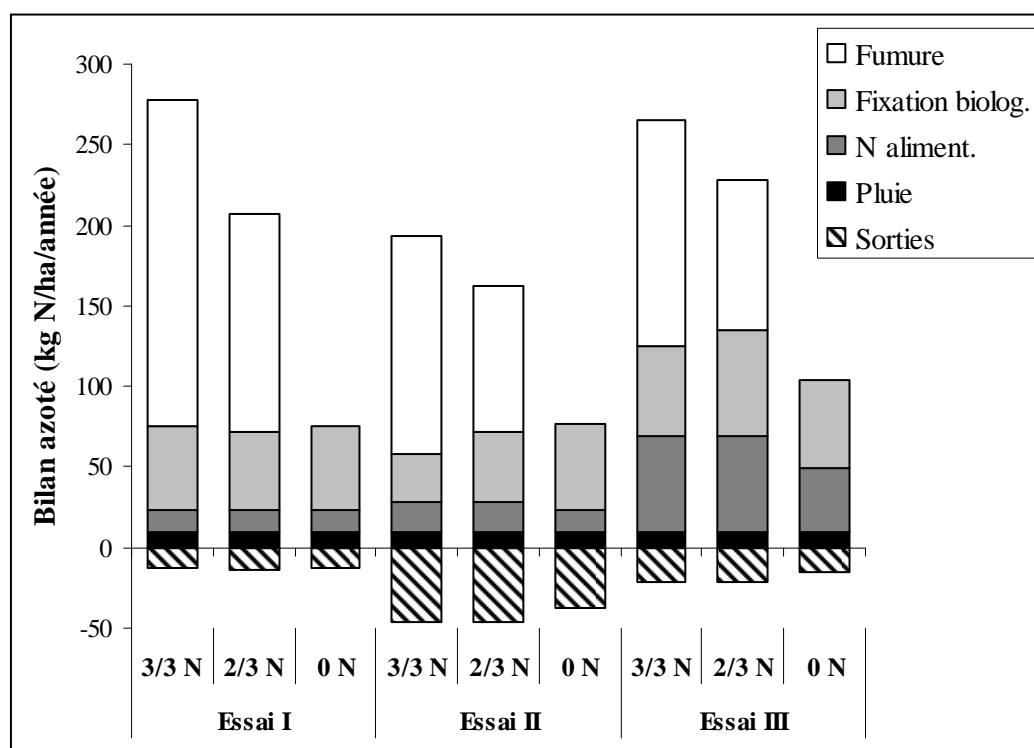
$$\text{Entrées (kg N/ha)} = 110 + 0,913 \text{ Fertilisation (kg N/ha)}.$$

Farruggia *et al.* (1997) ont publié une relation d'équivalence entre le solde du bilan azoté et le niveau de fertilisation azotée : $y = x$. Cette équation est différente de celle obtenue dans les présents essais. Farruggia *et al.* (1997) ont utilisé principalement des prairies de ray-grass fertilisées. Dans les essais du présent travail, les prairies étaient mixtes, avec du trèfle qui fixe l'azote atmosphérique, ce qui augmente les entrées et donc le bilan azoté. Malgré ces différences, la tendance reste la même, c'est-à-dire la relation linéaire du bilan azoté avec l'augmentation de la fumure azotée appliquée.

Jarvis (1999), à partir d'essais réalisés dans plusieurs fermes laitières, a calculé la corrélation suivante entre le bilan azoté (y) et la fumure azotée appliquée (x) : $y = 0,9927 x - 42,24$; $R = 0,96$. Il n'a pas tenu compte dans ce modèle de la fixation atmosphérique, ni de l'azote contenu dans le concentré. Dans l'essai vaches laitières (Essai II), on a calculé une corrélation significative entre le bilan azoté (y) et la fertilisation azotée (x) : $y = 0,98 x + 108,6$ ($R = 0,88$). L'azote atmosphérique fixé et l'azote du concentré ont été inclus dans cette équation; ce qui peut expliquer les différences entre l'ordonnée à l'origine obtenue dans les présents essais et celle publiée par Jarvis (1999). Ces deux entrées d'azote dans le système ont représenté, en moyenne, 48 kg N /ha/an.

La figure 33 présente les proportions des composants des bilans des systèmes calculés pour les trois traitements avec les trois catégories d'animaux utilisés.

Figure 33 : Bilan azoté et ses composants (en kg N/ha) des essais de vaches allaitantes et leurs veaux (Essai I), vaches laitières (Essai II) et taureaux (Essai III).



La fertilisation azotée représente l'entrée la plus importante dans les trois essais. Or, ce paramètre est le plus facilement contrôlable par l'éleveur dans le cadre d'une production désintensifié. Le taux de fixation d'azote par les légumineuses peut dépendre du choix d'un mélange de semences lors du semis, mais aussi de la fertilisation azotée, étant donné que les légumineuses se développent plus favorablement et sont plus compétitives avec des faibles fertilisations azotées.

Les bilans azotés des trois essais présentés dans la figure 26 montrent des sorties d'azote proportionnelles aux entrées. L'essai I (vaches allaitantes et veaux) apparaît comme particulier car le plus faible chargement a permis un gain de poids individuel plus élevé et une production par ha supérieure. Les gains individuels des veaux ont, quant à eux, été similaires entre les traitements, ce qui entraîne des productions à l'hectare directement proportionnelles au chargement. Dans les essais II et III (vaches laitières et taureaux respectivement), les sorties d'azote par l'hectare ont été liées au niveau de production par hectare qui augmentait avec le chargement.

Les sorties d'azote permises par la production laitière dans l'essai II atteignent presque 50 kg N/ha/an et ont été supérieures par rapport aux deux autres essais. Avec des vaches laitières, Farrugia (1997) a également obtenu des sorties d'azote par le lait de l'ordre de 50 kg N/ha/an. Dans l'essai III, les sorties d'azote ont été intermédiaires par rapport à celles des deux autres essais. Avec les protocoles utilisés dans les essais II et III, on a obtenu des sorties d'azote semblables entre traitements 3/3 N et 2/3 N. Farrugia *et al.* (1997) a également obtenu des exportations assez faibles avec des bovins viandeux (de 15 à 30 kg N/ha/an pour une gamme de fertilisation allant de 0 à 390 kg N/ha/an). Il estime qu'avec de tels systèmes, les sorties d'azote dépendent assez peu du niveau de fertilisation.

Le solde des bilans azotés représente un danger d'un point de vue environnemental. L'azote en excès peut être perdu par volatilisation, dénitrifié et lessivé. Le système 2/3 N, avec une réduction d'un tiers de la fertilisation azotée par rapport au système 3/3 N, apparaît le plus indiqué car il permet une économie dans la fertilisation tout en maintenant des performances similaires si le chargement est identique. Ce système a pu être maintenu pendant six années consécutives et apparaît donc comme durable. Le traitement 0 N apparaît comme optimal du point de vue environnemental, mais occasionne des productions moindres à l'hectare en raison du chargement diminué.

En ce qui concerne les rejets azotés par les animaux, ils sont principalement liés au chargement. L'azote ainsi rejeté peut être volatilisé et lessivé avec un impact négatif sur l'environnement. Dans le cas des vaches laitières, les déjections tombant hors de la parcelle peuvent représenter plus de la moitié de l'azote exporté (Farrugia, 1997). Avec les protocoles appliqués dans les présents essais, les rejets ont vraisemblablement été plus élevés avec les systèmes 2/3 N et 3/3 N qu'avec le système 0 N.

Les efficacités apparentes d'utilisation d'azote et la participation de la fertilisation azotée dans les intrants au système calculées pour les trois essais sont présentées au tableau 28.

Tableau 28: Efficience d'utilisation de l'azote (N sorties en produits / N entrées) et participation de la fertilisation azotée dans les entrées au système (%) pour les essais I (vaches allaitants), essai II (vaches laitières) et essai III (taureaux) pour les trois protocoles d'intensification. L'efficience relative est exprimée par rapport au traitement 3/3 N.

	Efficience absolue				Efficience relative				Participation de la fertilisation		
	Traitement				Traitement				Traitement		
	3/3 N	2/3 N	0 N	ETP	3/3 N	2/3 N	0 N	ETP	3/3 N	2/3 N	0 N
Essai I	4	7	16	3 *	100	154	367	55 *	73	65	0
Essai II	18	21	31	4 *	100	115	173	16 *	53	41	0
Essai III	8	9	14	2 *	100	115	177	21 *	53	41	0

* : P<0,05

Efficience absolue % = [N produit animal] / [Entrées (N fertilisation + N pluie + N prairie + N aliment)]

En considérant :

N fertilisation : dose d'azote appliquée kg N/ha

N aliment : teneur d'azote des aliments apportés

N pluie : 10 kg N/ha (Decau *et al.*, 1997)

N prairie : Production Primaire^a x % trèfle^b x Coefficient^c

^a : kg de Matière Sèche/ha de l'essai II, utilisée pour les trois essais.

^b : Pourcentage moyen du trèfle 1ère – 6ème années

^c : Coefficient = 0,0315 (Farrugia *et al.*, 1997)

Efficience relative = Base 100% : Efficience absolue traitement 3/3 N

Participation de la fertilisation = N fertilisant / N Entrées

Les efficacités absolues d'utilisation d'azote ont été plus élevées dans les traitements désintensifiés pour les trois catégories d'animaux. Elles sont liées directement à la fertilisation azotée appliquée. Les quantités d'azote appliquées sont la principale source d'entrées d'azote dans le système : de trois quarts à plus de la moitié des entrées dans le système leur sont attribuées. En absence de fertilisation azotée, les efficacités d'utilisation de l'azote augmentent par réduction des intrants au système. Dans les systèmes désintensifiés, l'augmentation de l'efficience de l'utilisation de l'azote implique un moindre risque d'impact environnemental.

8.3.3.2.-Nitrates dans le sol.

Des prélèvements de sol ont été effectués par carottage sur une profondeur de 90 cm (couches 0-30, 30-60 et 60-90 cm) dans les traitements 3/3 N et 0 N en vue de mesurer les reliquats azotés en nitrates. Ces échantillonnages ont été réalisés 6 fois dans les prairies pâturées pour les taureaux (essai III) à la fin de saison de pâturage des années 2, 3, 4 et 6 et au printemps des années 4 et 5, avant l'entrée des animaux. Dans l'essai des vaches laitières (essai II) les

échantillons ont été effectués 6 fois à la fin de saison de pâturage des années 3, 4 et 6 et au printemps des années 4 et 5, avant l'entrée des animaux.

Le tableau 29 présente les moyennes des reliquats en nitrates dans le sol des prélèvements réalisés des traitements 3/3 N et 0 N pour les essais II (vaches laitières) et III (taureaux), respectivement.

L'interprétation des reliquats azotés au pâturage est délicate. En effet, l'échantillonnage est difficilement représentatif de la parcelle en raison de la distribution hétérogène des pissats. Ces pissats représentent une source importante d'azote restitué à des endroits précis de la prairie. Néanmoins l'échantillonnage ayant été effectué de la même manière dans chaque traitement, les reliquats ont pu être comparés.

Tableau 29 : Reliquats moyens en nitrates (kg N-NO₃/ha) dans le sol des prairies pâturées par de vaches laitières (essai II) des traitements 3/3 N et 0 N.

	Concentration de nitrates du sol (kg N-NO ₃ /ha)			ETP	Effet		
	Profondeur	TRAITEMENT			T	A	TxA
		3/3 N	0 N				
Essai II	0-30cm	21,7	12,7	9,6	*	NS	NS
	30-60cm	22,2	12,8	25,6	NS	NS	NS
	60-90cm	17,5	7,8	20,3	NS	NS	NS
	0-90 cm	62,5	33,3	49,6	*	NS	NS
	Moyenne 0-90 cm	20,5	11,4	15,5	*	NS	NS
Essai III	0-30cm	11,9	10,5	10,1	NS	*	NS
	30-60cm	12,9	9,3	11,1	NS	*	NS
	60-90cm	9,6	6,5	9,2	NS	*	NS
	0-90 cm	34,4	26,2	26,9	NS	*	NS
	Moyenne 0-90 cm	11,5	8,8	15,5	NS	*	NS

ETP : Ecart Type Poolé. Effet T : Traitement, A : Année, TxA : interaction Traitement x Année. NS : pas des différences statistiques. * : P<0,05

Dans les deux essais, les valeurs moyennes dans les trois couches analysées ont été plus élevées dans le lot 3/3 N par rapport au lot 0 N. Les reliquats moyens de nitrates dans le sol des traitements 0 N ont été de 53% (essai II) et 76% (essai III) par rapport aux traitements 3/3 N (100%). Des différences significatives entre traitements ont été observées uniquement dans l'essai II. Par contre, l'essai III n'a pas présenté de différences significatives entre traitements.

Les différences interannuelles ont été constatées uniquement dans cet essai. Aucune interaction entre traitements et années n'a été observée dans les deux essais.

Il est normalement rapporté une augmentation des reliquats en nitrates dans le sol avec l'accroissement de la fumure azotée minérale, soit en prairies fauchées ou pâturées (Spatz, 1992 ; Decau et Le Corre, 1994 ; Cowan *et al.*, 1995 ; Scholefield & Fisher, 2000 ; Laidlaw *et al.*, 2000). Laidlaw *et al.* (2000) ont observé qu'une application de 90 kg N/ha a, en moyenne, augmenté de 2,7 fois le contenu en azote nitrique du sol par rapport à l'absence d'application de fumure. Avec des niveaux de fumure azotée supérieurs à 480 kg N/ha, de 25 à 50% de l'azote excédant les besoins des plantes se trouvent sous forme de nitrate dans le sol (Prins, 1984). En plus, la quantité de nitrates dans le sol est fortement influencée par le recyclage de l'azote par les animaux au travers des excréments, notamment des pissats (Frame 1992 ; Vertès et Decau, 1992 ; Scholefield et Fisher, 2000). Les déjections animales apportent localement des quantités relativement élevées d'azote (jusqu'à 700 kg N/ha sous les pissats et 150 kg N/ha pour les bouses ; Stout *et al.*, 1997) mais avec une distribution très hétérogène dans la parcelle (Simon *et al.*, 1998). Ces quantités apportées localement excèdent les besoins azotés de l'herbe, ce qui augmente les pertes d'azote du système (Lou *et al.*, 1999).

Dans l'essai des vaches laitières ainsi que pour les taureaux, on n'a pas constaté une accumulation des nitrates dans le sol après six années d'essais dans les profils de sol analysés. Selon Destain *et al.* (1994), en fin de saison de pâturage, les nitrates dans le sol représentent l'équivalent de 15 à 40 kg N-NO₃/ha. Ces nitrates ne seront pas prélevés pendant la période hivernale. A la fin de l'hiver, 5 à 10 kg N-NO₃/ha, avec un maximum de 30 kg N-NO₃/ha, sont encore présents, le reste ayant été perdu par lessivage.

On retrouve normalement des reliquats azotés plus élevés dans la couche 0-30 cm (Milimonka *et al.*, 1994). Le risque de lessivage et de contamination des nappes phréatiques est d'autant plus élevé que les reliquats sont dans une couche profonde (Spatz, 1992). Dans le cas des prairies pâturées, les nitrates au delà de 60 cm sont peu disponibles pour l'utilisation végétale (Destain, com. pers.). Selon Elsaesser (1994), un seuil inférieur à 45 kg N-NO₃/ha dans les premiers 90 cm de sol à la fin de la saison de pâturage est conseillé pour une pollution minimale des eaux de drainage. L'utilisation des systèmes désintensifiés est dès lors recommandée pour ne pas dépasser le seuil de reliquats azotés dans le sol.

9.-CONCLUSIONS GENERALES

Des années 50 aux années 80, la production agricole a été menée de manière très intensive afin d'augmenter le niveau de production et de réduire la dépendance alimentaire. Cette situation a engendré des excédents qui ont augmenté les coûts de la politique agricole commune et l'inadéquation avec les besoins. De plus, l'intensification de la production a augmenté les problèmes environnementaux. La réforme de la PAC, en 1992, a visé à mieux harmoniser l'offre et la demande en promouvant un meilleur respect de l'environnement, une utilisation plus rationnelle des sols et en engageant une baisse des prix compensée par des aides directes accordées aux agriculteurs sous certaines conditions. En production bovine, les aides sont liées à un système de quota qui avait été attribué selon un chargement à ne pas dépasser (2 UGB/ha), ce lien de la production à la surface impliquant une certaine désintensification et même une extensification. Ces aides ne sont pas concernées par le principe de découplage appliqué aux aides directes dans le cadre de l'Agenda 2000. En ce qui concerne l'application de la « Directive Nitrate » des mesures environnementales visant à réduire la pollution des nappes phréatiques sont imposées aux exploitants.

De manière générale, la production de vaches allaitantes grandes utilisatrices des surfaces herbagères, se prête bien à l'extensification. Celle-ci se traduit par une diminution des niveaux de chargement et de fumure azotée ayant des effets sur l'axe sol - plante - animal. La réduction de la fumure azotée influence le cycle de l'azote en diminuant les pertes d'azote par volatilisation, dénitrification et lessivage. La fixation biologique par les légumineuses augmente, les restitutions d'azote à la prairie sont modifiées et l'efficacité d'utilisation de l'herbe est améliorée. Les impacts environnementaux sont donc nettement moindres que dans une production intensive. La réduction du chargement et de la fumure azotée influence les productions animales à travers ses effets sur les plantes : la quantité et qualité d'herbe produite vont conditionner son ingestion et son utilisation par l'animal.

Les essais décrits dans le cadre de ce travail ont étudié deux manières de désintensifier la production des vaches allaitantes au pâturage. Il apparaît qu'il est possible de réduire la fumure azotée de 33% sans modifier le chargement de pâturage et sans pénaliser les performances des animaux. Cette étude originale met en évidence un certain gaspillage

d'azote dans les systèmes pâturés. Avec un apport nul en engrais azoté, des performances individuelles élevées peuvent être obtenues si le chargement de pâturage est adapté.

L'extensification se traduit par une diminution des performances à l'ha, mais les performances individuelles restent au même niveau où peuvent augmenter si la gestion du pâturage est adéquate. A chaque niveau de chargement et de fumure, nous avons vu qu'il était possible de développer des modèles de réponse de performances zootechniques. Ces systèmes peuvent être appliqués afin de diminuer la production animale dans le cadre d'une politique d'extensification. D'un point de vue environnemental, ces deux systèmes permettent de réduire largement les rejets azotés et d'améliorer le bilan azoté. D'ailleurs, l'élevage en systèmes extensifs permet d'obtenir une viande plus favorable pour la santé humaine du point de vue des acides gras.

La diminution du niveau d'intensification, la désintensification et l'extensification sont donc possibles dans les conditions belges, mais il faut tenir compte de la structure de certaines exploitations, trop petites pour être gérée de manière extensive, et des ressources économiques de chaque exploitation. Un système de compensation financier sous forme de prime est actuellement indispensable afin de rendre les systèmes viables.

L'utilisation des engrais de ferme, non abordée dans le cadre de ce travail, doit également être prise en compte à l'échelle de l'exploitation ; elle rentre également dans une politique soucieuse de l'environnement et demande aussi une technicité bien maîtrisée afin d'éviter les risques de pollution.

Enfin, une bonne gestion des surfaces fourragères est fondamentale à l'heure actuelle où les coûts de production deviennent très élevés. Des surfaces fourragères bien gérées permettent de produire des aliments de bonne qualité à faibles coûts dans les exploitations d'élevage.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AIKEN G.E., PITMAN W.D., CHAMBLISS C.G., PORTIER K.M. (1991) : Responses of yearling steers to different stocking rates on a subtropical grass-legume pasture. *J. Anim. Sci.* 69, 3348-3356.
- ACKERMAN C. J., PURVIS II H. T., HORN G. W., PAISLEY S. I., REUTER R. R., BODINE T. N. (2001) : Performance of light vs heavy steers grazing Plains Old World bluestem at three stocking rates. *J. Anim. Sci.* 79, 493–499
- ALDER F.E., COWLISHAW S.F., NEWTON J.E., CHAMBERS D.T. (1967) : The effect of level of nitrogen fertilizer on beef production from grazed perennial ryegrass/white clover pastures. *J. Br. Grassld Soc.* 22, 230-238.
- ALLEN V.G., FONTENOT J.P., KELLY R.F., NOTTER D.R. (1996) : Forage systems for beef production from conception to slaughter : III Finishing systems. *J. Anim. Sci.* 74, 625-638.
- ALLEN A.G., JARVIS S.C., HEADON D.M. (1996) : Nitrous oxide emissions form soils due to inputs of nitrogen from excreta return by livestock on grazed grassland in the U.K. *Soil. Biol. Biochem.* 28, 597-607.
- ANDRIES A. (1950) : L'appréciation dans la pratique de la valeur agricole des herbages, par l'examen de leur composition botanique. *Revue de l'Agriculture* 12, 15-19.
- ANDRIES A.P., CARLIER L.A., BOUCQUE C.V., COTTYN B.G., BUYASSE F.X. (1973) : production de viande bovine sur des prairies exploitées d'une manière intensive. *Revue de l'Agriculture*, 5, 1049-1061.
- ARMSTRONG R.D., McCOSKER K., MILLAR G., KUSKOPF B., JOHNSON S., WALSH K., PROBERT M.E., STANDLEY J. (1999) : Legume and opportunity cropping systems in central Queensland. 2. Effect of legumes on following crops. *Aust. J. Agr. Res.* 50, 925-936.
- ASTIGARRAGA L., PEYRAUD J.L., LE BARS M. (1993) : Effect of nitrogen fertilization and protein supplementation on herbage utilisation by grazing dairy cows. II.- Fecal

and urine excretion. VIIIème Journées des recherches sur la Nutrition et l'Alimentation des herbivores, 24-25 Mars, 49.

BAKANOV V.N., OVSISHER B.R., BONDAREVA N.I., MAMEV V.A., FILIPPOV V.F. (1976) : Nonprotein nitrogen and urea in blood and milk of cows in relation to ration composition. *Izvestiya Timiryazevskoi Sel'skokhozyaistvenoi Akademii*, 4, 177-182.

BARTHAM G.T., GRANT S.A., ELSTON D.A. (1992) The effects of sward height and nitrogen fertilizer application on changes in sward composition, white clover growth and the stock carrying capacity of an upland perennial ryegrass/white clover sward grazed by sheep for four years. *Grass and Forage Sci.* 47, 326-341.

BEHAEGHE T.J. (1981) : Exploitation des prairies. 4. La variation dans la croissance de l'herbe ; causes et conséquences pour l'exploitation des prairies. *Revue de l'Agriculture* 34, 511-515.

BENJAMIN N. (1999) : Nitrates in the human diet - good or bad?, in : Doreau M., Givens I. (eds.). *Proceedings of the European Conference of Ruminant Nutrition, Human Health and Environment*. INRA - ADAS. Paris, paper 3, 1-13.

BERANGER C. (1973) : Intensification de l'utilisation du pâturage par les troupeaux allaitants et possibilités d'extension des ces troupeaux en zone de culture. *Bull. Tech. INRA-Theix*, 346-361.

BERANGER C., MICOL D. (1981) : Utilisation de l'herbe par les bovins au pâturage : importance du chargement et du mode d'exploitation. *Fourrages*, 85, 73-93.

BERRY B.W., LEDDY K.F., BOND J., RUMSEY T.S., HAMMOND A.C. (1988) : Effects of silage diets an electrical stimulation on the palatability, cooking and pH characteristics of beef loin steaks. *J. Anim. Sci.* 66, 892-900.

BODET J.M. (1989) : Rôles de la prairie temporaire pérenne sur la fertilité physique des sols. *Fourrages*, 119, 243-252.

-
- CAMFIELD P.K., BROWN A.H., JOHNSON Z.B., BROWN C.J., LEWIS P.K., RAKES L.Y. (1999) : Effects of growth type on carcass traits on pasture or feedlot developed steers. *American Soc. Anim. Sci.* 77, 2437-2443.
- CARADUS J.R., PINXTERHUIS J.B., HAY R.J.M., LYONS T.L., HOGLUND J.H. (1993) : Response of white clover cultivars to fertiliser nitrogen. *New Zealand Journal of Agricultural Research* , 36, 285-295.
- CILLIERS J.W., VAN BILJON P.L., TOLMAY E., COERTZE C. (1997) : Effects of different levels of fertilizer application to veld on growth of steers and chemical composition of the herbage. *Grass and Forage Sci.* 52, 242 - 248.
- CISZUCK P., GEBREGZIABHER T. (1994) : Milk urea as an estimate of urine nitrogen of dairy cows and goats. *Acta Agric. Scand.* 44, 87-95.
- COLIN-SCHOELLEN O., JURJANZ S., LAURENT F. (1998) : Niveau d'apport PDI et déficit PDIN en ration complète pour vaches laitières : influence sur les performances zootechniques. *Renc. Rech. Ruminants*, 5 ,222.
- CONNIFFE D., BROWNE D., WALSH M.J. (1970) : Experimental design for grazing trials. *J. Agr. Sci. Camb.* 74, 339-342.
- COOMBE N.B., HOOD A.E.M. (1980) : Fertilizer-nitrogen: effects on dairy cow health and performance. *Fertilizer Res.*, 157-176.
- COWAN R.T., LOWE K.F., EHRLICH W., UPTON P.C., BOWDLER T.M. (1995) : Nitrogen-fertiliser grass in a subtropical dairy system. 1. Effect of level of nitrogen fertiliser on pasture yield and soil chemical characteristics. *Aust. J. Exp. Agr.* 35, 125-135.
- COWLISHAW S.J. (1969) : The carrying capacity of pastures. *J. British Grassld Soc.* 24, 207-214.

-
- CURLL M.L., WILKINS R.J., SNAYDON R.W., SHANMUGALINGAM V.S. (1985) : The effects of stocking rate and nitrogen fertilizer on a perennial ryegrass-white clover sward. 1. Sward and sheep performance. *Grass and Forage Sci.* 40, 129-140.
- CUTTLE S.P., HALLARD M., DANIEL G., SCURLOCK R.V. (1992) : Nitrate leaching from sheep-grazed grass clover and fertilized grass pastures. *J. Agr. Sci. Cambridge*, 119, 335-343.
- DATE R.A. (1973) : Nitrogen, a major limitation in the productivity of natural communities, crops and pastures in the Pacific area. *Soil Biol. Biochem.* 5, 5-18.
- DAVIDSON I.A., ROBSON M.J. (1990) : Short-term effects of nitrogen on the growth and nitrogen nutrition of small swards of white clover and perennial ryegrass in spring. *Grass and Forage Sci.* 45, 413-421.
- DAVIES A., EVANS M.E. (1990) : Effects of spring defoliation and fertilizer nitrogen on the growth of white clover in ryegrass/clover swards. *Grass and Forage Sci.* 45, 345-356.
- DE BRABANDER D.L., BOTTERMAN S.M., VANACKER J.M., BOUCQUE C.V. (1998) : La teneur du lait en urée comme indicateur de l'alimentation énergétique et protéique de la vache laitière ainsi que de l'excrétion d'azote. *Renc. Rech. Ruminants*, 5, 228.
- DE CAMPENEERE S., FIEMS L.O., DE PAPE M., VANACKER J.M., BOUCQUÉ C.V., Compositional data on Belgian Blue double-muscled bulls. *Anim. Res.*, 50 (2001) 43-55.
- DECAU M.L., DELABY L., ROCHE B. (1997) : AzoPât : une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières. II- Le flux du système sol - plante. *Fourrages* 151, 313-330.
- DECAU M.L., LE CORRE L. (1994) : A drained plot study of the impact of cutting and/or grazing management and N fertilisation on nitrate leaching under grassland, in : t'Mannetje L., Frame J. (eds.) 15th Proceeding of the 15th General Meeting of the European Grassland Federation, Holland, 382-386.

-
- DELABY L., DECAU M.L., PEYRAUD J.L., ACCARIE P. (1997) : AzoPât : une description quantifiée des flux annuels d'azote en prairie pâturée par les vaches laitières. I- Les flux associés à l'animal. Fourrages, 151, 297-312.
- DELABY L., PEYRAUD J.L. (1998) : Effet d'une réduction simultanée de la fertilisation azotée et du chargement sur les performances des vaches laitières et la valorisation du pâturage. Ann. Zootech. 47, 17-39.
- DELABY L., PEYRAUD J.L., BOUTTIER A., PECCATTE J.R. (1998) : Effet de deux conduites du pâturage sur les performances des vaches laitières, la valorisation des prairies et les restitutions d'azote. Renc. Rech. Ruminants 5, 229.
- DELABY L., PEYRAUD J.L., HODEN A., MULLER A., PECCATTE J.R. (1992) : Réduction de la fertilisation azotée et production laitière au pâturage : in L'extensification en production fourragère, numéro hors de série de Fourrages, décembre, 64-65.
- DEMARQUILLY C. (1977) : Fertilisation et qualité du fourrage. Fourrages 69, 61-84.
- DESTAIN J.P., GUIOT J., LIMBORUG P., LECOMTE P. (1994) : Première approche du bilan de l'azote en prairie permanente pâturée et de son aspect environnemental. Fourrages Actualités, CRA Gembloux, Belgium.
- DOYLE C.J., WILKINS R.J. (1984) : Grassland production : realizing the potential, in : Corrall A.J. (ed.), Grass British Grassland Society Occasional symposium n° 15, Hurley, U.K. 9-21.
- DRENNAN M., KEANE M.G. (1995) : Suckler calf to beef systems prospects for extensification in Ireland. Extensification of beef and sheep production on grassland. Occasional publication no. 2. 95-106.
- DUFRASNE I., GIELEN M., LIMBOURG P., BRUNDSEAUX C., ISTASSE L. (1995) : En Belgique, divers modalités de pâturage pour des taurillons avant finition à l'auge. Fourrages 141, 75-90.

-
- DUFRASNE I., GIELEN M., LIMBOURG P., BRUNDSEAUX C., ISTASSE L. (1995) : Production bovine allaitante en Belgique : effets de l'intensification et de la complémentation des veaux au pâturage. *Fourrages* 141, 91-104.
- DUFRASNE I., GIELEN M., LIMBOURG P., VAN EENAEME, C., ISTASSE, L. (1995) : Effect of a grazing period on performance of finishing bulls : comparison with an indoor finishing system. *Anim. Sci.* 60, 75-80.
- DUFRASNE I., HORNICK J.L., CLINQUART A., VAN EENAEME C., KERROUR M., DE BEHR V., DIEZ M., BALWIN P., ISTASSE L. (1999) : Utilisation rationnelle de la prairie permanente par la vache traite, la vache allaitante et le taurillon. Ministère des Classes Moyennes et de l'Agriculture. Administration Recherche et Développement DG6. Bruxelles, Belgique.
- DUFRASNE I., ISTASSE L., RASKIN P. (1998) : Cattle production from grass in intensive areas, in : Nagy G., Petö K. (eds.), 17th EGF Meeting. *Ecological Aspects of Grassland Management*. Debrecen, Hungary. 18-21 May. 163-174.
- DURU M., BELLON S., GAYRAUD M., LEMAIRE G., LOUAULT F., PEYRAUD JL., PFLIMLIN A., VERTES F. (1992) : Bases agronomiques pour gérer les ressources fourragères selon différents objectifs de production et d'utilisation,. 1992. *Fourrages*, Supplément des Journées AFPP. Paris 25-26 mars, 77-87.
- ELSAESSER M. (1994) : Effects of reduced N application on mineral N contents, DM yield and botanical composition of permanent grassland, in : t'Mannetje L., Frame J. (eds.) *Proceeding of the 15th General Meeting of the European grassland federation*, Holland, 434-437.
- ESCUDE J.C., ANDREWS R.P., HOLMES W. (1971) : The effect of nitrogen, stocking rate and frequency of grazing by beef cattle on the output of pasture. *J. Br. Grassld Soc.* 26, 79-84.
- ERISMAN J.W., BLEEKER A., GALLOWAY J., SUTTON M.S. (2007) : Reduced nitrogen in ecology and the environment. *Environmental Pollution* 150, 140-149.

-
- FARRUGGIA A., DECAU M.L., VERTES F., DELABY L. (1997) : En prairie, la balance azotée à l'échelle de la parcelle. *Fourrages* 151, 281-295.
- FARRUGGIA A., LE GALL A., LEGARTO J., LE MEUR D., CABARET M.M. (1998) : Risques de lessivage de nitrates sous prairies pâturées. *Renc. Rech. Ruminants*, 5, 224.
- FARRUGGIA P., VERITE R. (1998) : Utilisation de la teneur en urée du lait comme indicateur de la nutrition protéique et des rejets azotés chez la vache laitière. *Renc. Rech. Ruminants*, 5 , 209-212.
- FERRER-CAZCARRA R., PETIT M., D' HOUR P. (1995) : The effect of sward height on grazing behaviour and herbage intake of three sizes of Charolais cattle grazing cocksfoot (*Dactylis glomerata*) swards. *Anim. Sci.* 61, 511-518.
- FIGLIOLI J.L. (1992) : L'extensification du pâturage continu des vaches laitières, in : L'extensification en production fourragère, numéro hors de série de *Fourrages*, décembre, 68-69.
- FRAME J. (1987) : The effect of strategic fertilizer nitrogen and date of primary harvest on the productivity of a perennial ryegrass/white clover sward. *Grass For. Sci.* 42, 33-42
- FRAME J. (1992) : Improved grassland management, in : Frame J. (ed.), Farming Press Books, Ipswich, UK, pp. 352.
- FRAME J., BOYD A.G. (1987) : The effect of fertilizer nitrogen rate, white clover variety and closeness of cutting on herbage productivity from perennial ryegrass/white clover swards. *Grass and For. Sci.* 42, 85-96.
- GATELY T.F., O'KEEFFE W.F., CONNOLLY, J. (1984) : Review of nitrogen and stocking rate experiments for milk production in Ireland. *Irish Journal Agric. Res.*, 23, 11-26.
- GIBB M.J, BAKER R.D., SAYER A.M.E. (1989) : The impact of grazing severity on perennial ryegrass/white clover swards stocked continuously with beef cattle. *Grass and Forage Sci.* 44, 315-328.

-
- GIGER-REVERDIN S., SAUVANT D. (1998) : Prédiction des pertes azotées fécales et urinaires de chèvres en lactation à partir des caractéristiques de la ration. Renc. Rech. Ruminants, 5 ,231.
- GORDON F.J. (1973) : The effect of high nitrogen levels and stocking rates on milk output from pasture. J. Br. Grassld Soc. 28, 193-201.
- GRENET N., MICOL D., BILLANT J., D'HOOR P., GRAUD J.M., LECOMTE D., PARRASSIN P.R., PECCATTE J.R. (1987) : Simplification du pâturage pour les troupeaux allaitants et les bovins d'élevage. Fourrages 111, 283-298.
- GRENET N., MICOL D., HAUREZ P., DOZIAS D., PFLIMLIN A. (1997) : Production of high quality beef under extensive conditions in France, in : Fiems L.O., De Campeneere S. (eds.), Effects of extensification on animal performance, carcass composition and product quality, Proceedings of a workshop, may 16-17, Melle-Gontrode, Belgium, 248-267.
- GROOT T., KEUNING J.A., (1968) : Intensive beef production from grassland. Two grazing experiments. World Review of Animal Production 4, 75-76.
- GUNTER S., BECK P., HUTCHINSON S., PHILLIPS J. (2005) Effects of stocking and nitrogen fertilization rates on steers grazing dallisgrass-dominated pasture. J. Anim. Sci, 83, 2235-2242.
- HANCOCK D.L., WILLIAMS J.E., HENDRICK H.B., BEAVER E.E., CARRICK D.K., ELLERSIECK M.R., GARNER G.B. MORROW R.E., PATERSON J.A. GERRISH J.R. (1987) : Performance, body composition and carcass characteristics of finishing steers as influenced by previous forage systems. J. Anim. Sci. 65, 1381-1391.
- HARRIS S.L., AULDIST M.J., CLARK D.A., JANSEN E.B.L. (1998) : Effects of white clover content in the diet on herbage intake, milk production and milk composition of New Zealand dairy cow housed indoors. J. Dairy Res. 65, 389-400.

-
- HARRIS S.L., CLARK D.A. (1996) : Effect of high rates of nitrogen fertiliser on white clover growth, morphology, and nitrogen fixation activity in grazed dairy pastures in northern New Zealand. *New Zealand J. Agric. Res.* 39, 149-158.
- HEMINGWAY R.G. (1999) : The effect of changing patterns of fertilizer applications on the major mineral composition of herbage in relation to the requirements of cattle: a 50-year review. *Anim. Sci.* 69, 1-18.
- HENNESSY D.W., ROBINSON G.G. (1979) : The herbage intake, eating behaviour and calf production of beef cows grazing improved pastures on the Northern Tablelands of New South Wales. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 261-268.
- HERNANDEZ GARAY A., SOLLENBERGER L. E., MCDONALD D. C., RUEGSEGGER G. J., KALMBACHER R. S., MISLEVY P. (2004) : Nitrogen Fertilization and Stocking Rate Affect Pasture and Cattle Performance. *Crop Sci.* 44:1348–1354.
- HIBBITT K. (1984) : Effect of protein on the health of dairy cows, in : Haresing W., Cole D. (eds.), *Recent advances in animal nutrition*. London, U.K. Bultterworth and Co. pp 189-200.
- HODEN A., MULLER A., PEYRAUD J.L., DELABY L., FARRUGGIA P., PECCATTE J., FARGETTON M. (1991) : Pâturage pour vaches laitières. Effets du chargement et de la complémentation en pâturage tournant simplifié. *INRA Prod. Anim.* 4, 229-239
- HODEN A., PEYRAUD J.L., MULLER A., DELABY L., FARRUGGIA P. (1991) : Simplified rotational grazing management of dairy cows : effects of rates of stocking and concentrate. *J. Agr. Sci. Camb.* 116, 417-428.
- HODGSON J. (1990) : Grazing Management, in : Whittemore C., Simpson K. (eds.) Longman Group, UK, 204 pp.
- HOLMES W. (1968) : The use of nitrogen in the management of pasture for cattle. *Herbage Abstracts* 38, 265-276.

-
- HOLMES J.C., LANG R.W. (1974) : The effect of nitrogen application to pasture on beef production. *J. Br. Grassld Soc.* 29, 121-131.
- HOOD A.E.M. (1976) : The high nitrogen trial on grassland at Jealott's Hill. *Overdruk uit Stikstof 83/84*, 395-404.
- HORN F.P., TELFORD J.P., McCROSKEY J.E., STEPHENS D.F., WHITEMAN J.V., TOTUSEK R. (1979) : Relationship of animal performance and dry matter intake to chemical constituents of grazed forage. *Journal of Animal Sci.* 49, 1051-1058.
- HORNICK J.L., RASKIN P., CLINQUART A., DUFRASNE I., VAN EENAEME C., ISTASSE L. (1998) : Compensatory growth in Belgian Blue bulls previously grazed at two stocking rates: animal performance and meat characteristics. *Animal Sci.* 67, 427-434.
- HORTON G.M.J., HOLMES W. (1974) : The effect of nitrogen, stocking rate and grazing method on the output of pasture grazed by beef cattle. *J. Br. Grassld Soc.* 29, 93-99.
- HULL J.L., MEYER J.H., KROMANN R. (1961) : Influence of stocking rate on animal and forage production from irrigated pasture. *J. Anim. Sci.* 20, 46-52.
- INGRAM P. (1983) : The use of grass in milk production. Ministry of Agriculture Fisheries and Food, in : *Bulletin of the Agricultural Development and Advisory Service*, Horserry Read, London, UK, 48-60.
- INRA (1980) : *Alimentation des ruminants. Valeur nutritive des aliments*. INRA Publications, Versailles, France, 1980, 621 pp.
- JARVIS S.C., AARTS H.F.M. (2000) : Nutrient management from a farming systems perspective, in : Soegaard K., Ohlsson C., Sehested JH., Hutchings N.J. Dristensen T. (Eds) *Proceedings of the 18th General Meeting of the European Grassland Federation*, Aalborg, Denmark 22-25 May, 363-373.

-
- JARVIS S.C. (1999) : Accounting for nutrients in Grassland: challenges and needs, in : Corrall A.J. (eds.), Proceedings of the 33th Occasional Symposium of British Grassland Society. Oxfordshire, UK, 3-12.
- JARVIS S.C., HATCH D.J., LOCKYER D.R. (1989) : Ammonia fluxes from grazed grassland : annual losses from cattle production systems and their relation to nitrogen inputs. *J. Agr. Sci. Cambridge*, 113, 99-108.
- JARVIS S.C., HATCH D.J., ROBERTS D.H. (1989) : The effects of grassland management on nitrogen losses from grazed swards through ammonia volatilisation: The relationship to excretal N returns from cattle. *J. Agr. Sci. Camb.* 112, 205-216.
- JOHNSON R.H., MORRISON J. (1997) : Effects of spring fertilizer and sward height on production from perennial ryegrass/white clover swards grazed by beef cattle. *Grass and Forage Sci.*, 52, 322-324.
- JONES R.J. (1990) : Nitrogen rate and stocking rate effects on steer gains from grazed irrigated Pangola grass in the Ord Valley, Western Australia. *Australian J. Exper. Agr.* 30, 599-605.
- JONKER J.S., KOHN R.A., ERDMAN R.A. (1998) : Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilisation efficiency in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81, 2681-2692.
- KEANE M.G., ALLEN P. (1999) : Effects of pasture fertiliser N level on herbage composition, animal performance and on carcass and meat quality traits. *Livestock Prod. Sci.* 61, 233-244.
- KILKENNY J.B., DENCH J.A.L. (1981) : The rol of grassland in beef production, in : *Grassland in the British Economy*, Jollans J.L. (ed.), UK, 306-381.
- KING K.R., STOCKDALE C.R. (1980) : The effects of stocking rate and nitrogen fertilizer on the productivity of irrigated perennial pasture grazed by dairy cows. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 20, 537-542.

-
- KOHN R. A., DINNEEN M. M., RUSSEK-COHEN E. (2005) : Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goats, horses, pigs, and rats. *J. Anim. Sci.*, 83, 879–889.
- LAIDLAW A.S. (1984) : Quantifying the effect of nitrogen fertilizer applications in spring on white clover content in perennial ryegrass-white clover swards. *Grass and Forage Sci.* 39, 317-321.
- LAIDLAW A.S., STEEN R.W.J. (1989) : Turnover of grass laminae and white clover leaves in mixed swards continuously grazed with steers at a high- and low-N fertilizer level. *Grass and Forage Sci.* 44, 249-258.
- LAIDLAW A.S., WATSON C.J., MAYNE C.S. (2000) : Implications of nitrogen fertilizer application and extended grazing for the N economy of grassland. *Grass and Forage Sci.* 55, 37-46.
- LAWS J.A. (1993) : A comparison of the output from permanent swards containing clover or receiving nitrogen fertilizer when continuously grazed by ewes and lambs. *Grass and Forage Sci.* 48, 238-248.
- LEDGARD S.F., JARVIS S.C., HATCH E.J. (1998) : Short-term nitrogen fluxes in grassland soils under different long-term nitrogen management regimes. *Soil Biol. Biochem.* 10/11, 1233-1241.
- LE GALL A., LEGARTO J., CABARET M.M., FARRUGGIA A. (1998) : Impact des systèmes laitiers productifs sur l'environnement. Flux d'azote à l'échelle de l'exploitation. *Renc. Rech. Ruminants*, 5 ,201-208.
- LONG F.N.J., GRACEY H.I. (1990) : Effect of fertilizer nitrogen source and cattle slurry on herbage production and nitrogen utilisation. *Grass and Forage Sci.* 45, 431-442.
- LOU J., TILLMAN R.W., BALL P.R. (1999) : Grazing effects on denitrification in a soil under pasture during two contrasting seasons. *Soil Biol. Biochem.* 31, 903-912.

-
- LUMPUNGU K. (1983) : La perte en azote et la phytotoxicité de l'urée dans le sol. Annales de Gembloux, 89, 117 - 127.
- MANDELL I.B., BUCHANAN-SMITH J.G., CAMPBELL C.P. (1998) : Effects of forage vs. gain feeding on carcass characteristics, fatty acid composition and beef quality in Limousin-cross steers when time on feed is controlled. J. Anim. Sci. 76, 2619-2630.
- MARMER W.N., MAXWELL R.J., WILLIAMS J.E. (1984) : Effects of dietary regimen and tissue site on bovine fatty acid profiles. J. Anim. Sci. 59, 109-121.
- MARSH R., MURDOCH J.C. (1974) : Effect of high fertilizer nitrogen and stocking rates on liveweight gain per animal and per hectare. J. Br. Grassld Soc. 29, 305-315.
- MARTIN B., COULON J.B., CHAMBA J.F., BUGAUD C. (1997) : Effect of milk urea content on characteristics of matured Relochon cheeses. Lait 77, 505-514.
- MATHIEU Y., DEMERLE P., BRUNSCWIG P., CHAMPION H. (1998) : Valoriser les céréales au pâturage et limiter les rejets azotés des vaches laitières. Renc. Rech. Ruminants, 5, 213-215.
- MCMA - Ministère des Classes Moyennes et de l'Agriculture (2000) : Agenda 2000. Un nouvel horizon pour l'Agriculture belge. Service Information. Bruxelles, Belgique, pp 52.
- MEADOWCROFT S., ALTMAN F.B. (1982) : Nitrogen and stocking rates for grazing beef cattle. Expl. Hus. 38, 163-183.
- MENISSIER F. (1990) : Objectifs de sélection des bovins à viande face à une extensification des systèmes de production. 41ème Réunion Annuelle de la Fédération Européen de Zootechnie, 1-14.
- MENNEER J.C., LEDGARD S.F., GILLINGHAM A.G. (2004) : Land Use Impacts on Nitrogen and Phosphorus Loss and Management Options for Intervention. www.envbop.govt.nz/water/media/pdf/Land%20Use.pdf (juillet 2008).

-
- MICOL D., DEDIEU B., AGABRIEL J., BERANGER C. (1997) : Adaptation de la production de viande bovine aux systèmes extensifs d'élevage. *Fourrages* 149, 3-20.
- MICOL D., DOZIAS D., PECCATTE J.R., MULLER A. (1992) : Croissance des bovins en relation avec différentes modalités d'exploitation du pâturage. *Fourrages, Supplément des Journées AFPPF*. Paris, France, 67-68.
- MILIMONKA A., RICHTER K., JUKSCHAT M., EBEL G. (1994) : Changes in quantity of mineral soil nitrogen below different pasture ranges in an extensively managed pasture, in : t'Mannetje L., Frame J. (eds.) 15th Proceeding of the 15th General Meeting of the European grassland federation, Holland, 423-428.
- MOTTAR J., DE VILDER J. (1979) Influence de la composition saline et de la teneur en N non protéique du lait sur sa stabilité à la chaleur. *Revue de l'Agriculture*, 32, 803.
- MRW - Ministère de la Région Wallonne (1999) : Evolution de l'économie agricole et horticole de la Région Wallonne. Ed. Faculté de Sciences Agronomiques - Gembloux, Belgique, pp 320.
- NEUTEBOOM J.H., MANNETJE L., LANTINGA E.A., WIND K. (1994) : Cattle weight changes and botanical composition of an unfertilized grass sward under continuous grazing, in : Mannetje L., Frame J (eds.), Proceedings of the 15th General Meeting of the European Grassland Federation, Holland, 320-323.
- NITRAWAL (2008) : <http://www.nitrawal.be> (juillet, 2008).
- OAKS A., ASLAM M., BOSEL I. (1977) : Ammonium and amino acids as regulators of nitrate reduction in corn roots. *Plant Physiol.* 59, 391 - 394.
- O'FARRELL K.J., McCARTHY D.D., CRINION R.A.P., SHERINGTON J. (1986) : Metabolic profiles of dairy cows. 1. The effects of season, nitrogen level and stocking rate. *Irish Veterinary Journal* 40, 42-52.

-
- OHLENBUSCH P.D., WATSON S.L. (1999) : Stocking rate and grazing management. Cooperative Extension Service. Kansas State University. <http://www.oznet.ksu.edu/library/CRPSL2/MF1118.pdf>
- OLTNER R., WIKTORSSON H. (1983) : Urea concentration in milk and blood as influenced by feeding varying amounts of protein and energy to dairy cows. *Liv. Prod. Sci.*, 10, 457-467.
- O'RIORDAN E.G. (1996) : Beef production from grazed grass and grass/clover swards : in Parente G., Frame J., Orsi S. (eds.), *Proceedings of the 16th General Meeting of the European Grassland Federation*, 548-551
- ORR R.J., PARSONS A.J., PENNING P.D. (1990) : Sward composition, animal performance and the potential production of grass/white clover swards continuously stocked with sheep. *Grass For. Sci.* 45, 325-336.
- PETIT M., GAREL J.P., MICOL D. (1987) : Conduite du troupeau de vaches allaitantes au pâturage : quelques éléments de réflexion. *Bull. Tech. CRZV*, 69, 15-20.
- PETIT M., JARRIGE R., RUSSEL A.J.F., WRIGHT I.A. (1992) : Feeding and nutrition of the suckler cow, in : Jarrige R., Béranger C. (eds.), *World Animal Science*, C5, Elsevier, Amsterdam, 191-208.
- PETIT M., MULLER A. (1980) : Utilisation du pâturage par les vaches allaitantes : influence du chargement. *Ann. Zootech.* 29, 317-338.
- PETIT M., MULLER A., POURBAIX D., PECATTE G., GALLARD Y. (1980) : Utilisation du pâturage par les vaches allaitantes : influence du chargement. *Ann. Zootech.* 29, 317-338.
- PEYRAUD J.L., ASTIGARRAGA, L. (1998) : Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance. *Anim. Feed Sci. Tech.* 72, 235-259.

-
- PEYRAUD J.L., ASTIGARRAGA L., FARRUGGIA P. (1997) : Digestion of fresh perennial ryegrass fertilized at two levels of nitrogen by lactating dairy cows. *Animal Feed Sci. Technology* 64, 155-171.
- PONS Y., LEMAIRE G., LAFON E., SALETTE J. (1989) : Intensification de prairies des marais de l'Ouest. II- Fertilisation et méthodes de diagnostic de la nutrition minérale. *Fourrages* 120, 367-381.
- PRIOLO A., MICOL D., AGABRIEL J. (2000) Effets d'une alimentation à base d'herbe sur la couleur et la flaveur des viandes bovines. *Renc. Rech. Rumin.*, 7, 267.
- PRINS W.H. (1984) : Limits to nitrogen fertilizer on grassland. *Neth. J. of Agric. Sci.* 32, 319-321.
- REID D., STRACHAN H. (1974) : The effects of a wide range of nitrogen rates on some chemical constituents of the herbage from perennial ryegrass swards with and without white clover. *J. Agric. Sci. Camb.* 83, 393-401
- ROSELER D.K., FERGUSON J.D., SNIFFEN C.J., HERREMA J. (1993) : Dietary protein degradability effects on plasma milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 76, 525-534.
- ROTZ C. A. (2004) : Management to reduce nitrogen losses in animal production. *J. Anim. Sci.*, 82(E. Suppl.), E119–E137
- SAUVANT D., MERTENS D. (1998) : Influence des caractéristiques de la ration sur la synthèse microbienne de la panse et la partition des flux d'azote chez les bovins. *Renc. Rech. Ruminants*, 5 , 230.
- SCHILS R.L.M., KRAAK T. (1994) : Effect of spring application of nitrogen, cutting frequency and management on the dry matter and nitrogen yield of a grass/white clover mixture: in Mannelje L., Frame J. (eds), *Proceedings of the 15th General Meeting of the European Grassland Federation*, Holland, 90-93.

-
- SCHOLEFIELD D., FISHER G.E.J. (2000) : Nutrient cycling in grazing systems, in : Rook A.J., Penning P.D. (eds.), Proceedings of the 34th Occasional symposium of the British Grassland Society, Harrogate, UK, 119-128.
- SIMON J.C., DECAU M.L., MORVAN T. (1998) : Facteurs de variation du devenir de l'azote des déjections bovines sur les surfaces fourragères. Renc. Rech. Ruminants 5 Paris, France, 193-200.
- SIMON J.C., DE MONTARD F., LE CORRE L., PEPIN D. (1989) : Rôle agronomique de la prairie dans la gestion du drainage des nitrates vers la nappe phréatique. Fourrages, 119, 227 - 241.
- SIMON J.C., VERTES F., DECAU M.L., LE CORRE L. (1997) : Les flux d'azote au pâturage. I- Bilans à l'exploitation et lessivage du nitrate sous prairies. Fourrages 151, 249-262.
- SIMPSON J.R., STOBBS T.H. (1981) : Nitrogen supply and animal production from pastures, in : Grazing Animals Morley (ed.), Elseviers Published, 261-287.
- SMITH F., GRABER R.W., RILEY J., OWENSBY C., SCHALLES R.R (1985) : Selected Articles from Cattlemen's Day, Agricultural Experiment Station. Kansas State University. 5-7. http://www.oznet.ksu.edu/pr_forage/pubs/r470_425.pdf
- SPATZ G. (1992) : Nitrate leaching under pastures, in : Pulli S. (ed.), Proceedings of the 14th General Meeting of the European Grassland Federation, Finland, 208-209.
- SOUFFLET J.F. (1997) : Quality control and quality assurance in the beef and mutton sector, in : Fiems, L.O. ; De Campeneere S. (eds.) Effects of extensification on animal performance, carcass composition and product quality. Melle-Gontrode, Belgium, 16-17 May, 14-29.
- STEVENS R.J. (1999) : Losses to water and air, in : Corrall A.J. (eds.), Proceedings of the 33th Occasional Symposium of British Grassland Society. Oxfordshire, UK, 77-86.

-
- STOCKDALE C.R., KING K.R. (1980) : The effects of stocking rate and nitrogen fertilizer on the productivity of irrigated perennial pasture grazed by dairy cows. 1. Pasture production, utilisation and composition. *Australian J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 20, 529-536.
- STOUT W.L., FALES S.A., MULLER L.D., SCHNABEL R.R., PRIDDY W.E., ELWINGER G.F. (1997) : Nitrate leaching from cattle urine and faeces in Northeast USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 1787-1794.
- TALLOWIN J.R.B., KIRKHAM F.W., BROOKMAN S.K.E., PATEFIELD M. (1990) : Response of an old pasture to applied nitrogen under steady-state continuous grazing. *J. Agric. Sci. Camb.* 115, 179-194.
- TERADA F., ABE H., NISHIDA T., SHIBATA M. (1998). Prediction of nitrogen excretion in finishing steers. *Anim. Sci. Technol.* 69, 697-701.
- THOMAS R.J., LOGAN K.A.B., IRONSIDE A.D., BOLTON G.R. (1990) : The effects of grazing with and without excretal returns on the accumulation of nitrogen by ryegrass in a continuously grazed upland sward. *Grass and Forage Sci.* 45, 65-75.
- THORNTON R.F. (1970) : Factors affecting the urinary excretion of urea nitrogen in cattle : I- Sodium chloride and water loads. II- The plasma urea nitrogen concentrations. *Australian J. Agric. Res.* 21, 131-152.
- UMOH J.E., HOLMES W. (1974) : A further investigation of the effect of nitrogen and stocking rate on the productivity of pasture for beef cattle. *J. Br. Grassld Soc.* 29, 203-206.
- VAN DER HOEK K.W. (1998) : Nitrogen efficiency in global animal production. *Environmental Pollution* 102, S1 127-132.
- VAN HORN H. H., NEWTON G. L., KUNKLE W. E. (1996) : Ruminant Nutrition from an Environmental Perspective: Factors Affecting Whole-Farm Nutrient Balance. *J. Anim. Sci.* 74, 3082-3102.

-
- VARELA A., OLLETE B., MORENO T., PORTELA C., MONSERRAT L., CARBALLO J.A., SANCHEZ L. (2004) : Effect of pasture finishing on the meat characteristics and intramuscular fatty acid profile of steers of the Rubia Gallega breed. *Meat Science* 67, 515-522.
- VERITE R., DELABY L. (1998) : Conduite alimentaire et rejets azotés chez la vache laitière. Interrelations avec les performances. *Renc. Rech. Ruminants* 5, 185-192.
- VERITE R., DELABY L. (2000) : Relation between nutrition, performances and nitrogen excretion in dairy cows. *Ann. Zootech.* 49, 217-230.
- VERTES F., DECAU M.L. (1992) : Suivis d'azote minéral dans les sols : risque de lessivage de nitrate selon le couvert végétal. *Fourrages* 129, 11-28.
- VERTES F., SIMON J.C., LE CORRE L., DECAU M.L. (1997) : Les flux d'azote au pâturage. II- Etude des flux et de leurs effets sur le lessivage. *Fourrages* 151, 263-280.
- WILKINS P.W., ALLEN D.K., MYTTON L.R. (2000) : Differences in the nitrogen use efficiency of perennial ryegrass varieties under simulated rotational grazing and their effects on nitrogen recovery and herbage nitrogen content. *Grass and For. Sci.* 55, 69-76.
- WILKINS R.J., GARWOOD E.A., HOPKINS A., TALLOWIN J.R.B. (1987) : Beef production from permanent grassland in Britain. *Irish Grassland and Animal Prod. Assoc. Jour.* 22, 71-76.
- WILLIAMS E.D. (1984) : Some effects of fertilizer and frequency of defoliation on the botanical composition and yield of permanent grassland. *Grass and Forage Sci.* 39, 311-315.
- WOOD P.D.P., BOOTH J.P. (1983) : Variation in milk cell counts during lactation of British Friesian cattle. *Anim. Prod.* 36, 335-339.

WOOD J.D., ENSER M. (1997) : Factors influencing fatty acids in meat and the role of antioxidants improving meat quality. *British J. Nutr.* 78, S49-S60.

WOOD J.D., ENSER M., FISHER A.V., NUTE G.R., RICHARDSON R.I., SHERD P.R. (1999) : Manipulating meat quality and composition. *Proc. Nutr. Soc.* 58, 363-370.

WRIGHT I.A., WHYTE T.K. (1989) : Effects of sward surface heights on the performance of continuously stocked spring calving beef cows and their calves. *Grass and Forage Sci.* 44, 259-266.

YIAKOUMETTIS I.M., HOLMES W. (1972) : The effect of nitrogen and stocking rate on the output of pasture grazed by beef cattle. *J. Br. Grassld Soc.* 27, 183-191.

