

Nouveaux compromis techniques pour concilier les impératifs d'efficacité économique et environnementale des systèmes d'élevage herbivore

A. Le Gall^{1,2}, E. Beguin³, J.-B. Dollé^{4,2}, V. Manneville⁵, A. Pflimlin⁶

1 : Institut de l'Élevage, Monvoisin, BP 85225, F-35652 Le Rheu Cedex ; Andre.Legall@inst-elevage.asso.fr

2 : UMT Recherche et Ingénierie en Elevage laitier, F-35590 St Gilles

3 : Institut de l'Élevage, 19 bis, rue Alexandre Dumas, F-80096 Amiens Cedex

4 : Institut de l'Élevage, BP 39, F-62051 St Laurent Blangy Cedex

5 : Institut de l'Élevage, 9, rue de la Vologne, F-54520 Laxou

6 : Institut de l'Élevage, 148, rue de Bercy, F-75595 Paris Cedex 12

Introduction

L'agriculture doit à la fois produire plus pour répondre au défi alimentaire mondial, produire autre chose (agrocarburants, chimie verte, services écologiques), mais aussi produire différemment, en respectant davantage l'environnement. Ces trois objectifs génèrent des tensions et contradictions, qu'il faut tenter de résoudre dans un espace agricole limité, voire même en réduction dans nos pays. Les filières lait et viande françaises n'échappent pas à cette analyse, même si le contexte actuel des marchés agricoles tempère provisoirement la nécessité de produire davantage. A l'échelle internationale, européenne et française, plusieurs rapports, directives, règlements, initiatives politiques (comme le Grenelle de l'Environnement) interpellent l'élevage des ruminants sur le plan environnemental. La critique la plus vive porte certainement sur les émissions de gaz à effet de serre, notamment le méthane du secteur herbivore, qui contribuent au réchauffement climatique. Il s'agit aussi de limiter les risques de pollution vers l'eau, l'air, le sol et de préserver les ressources non renouvelables, tout comme la biodiversité. Certains systèmes d'élevage pour la production laitière comme pour l'engraissement présentent certainement des fragilités sur ces différents aspects. Néanmoins, les systèmes d'élevage herbivore français, encore largement basés sur la prairie, présentent des contributions positives à l'environnement et progressent sur les points les plus délicats, comme la gestion de l'azote. Une partie significative des exploitations d'élevage d'herbivores françaises devrait ainsi pouvoir être considérée à hautes performances économiques et environnementales.

1. Performances environnementales des systèmes d'élevage herbivore

1.1. Systèmes bovins laitiers : des progrès importants sur les flux d'azote

De façon simplifiée, on peut considérer quatre grandes familles de systèmes laitiers, associées aux principales régions laitières, déjà décrites par ailleurs. Les différents travaux conduits par l'Institut de l'Elevage et ses partenaires permettent de qualifier les performances environnementales de ces systèmes laitiers (Tableau 1), à partir des indicateurs suivants : pressions et excédents d'azote, de phosphore et produits phytosanitaires par hectare, consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre pour 1 000 litres de lait, biodiversité...

TABLEAU 1 – Description et performances environnementales des principaux systèmes laitiers français (sources : RAISON *et al.*, 2008 ; Réseaux d'Elevage, 2008 ; BEGUIN *et al.*, 2008 ; travaux Institut de l'Elevage).

	Systèmes des cultures fourragères de l'Ouest et des piémonts	Systèmes des zones mixtes cultures et élevage	Systèmes des zones herbagères du Nord-Ouest et de l'Est	Systèmes des montagnes humides du Massif central et de Franche-Comté
Nombre de fermes françaises	43 000	20 000	16 000	16 000
% SFP/SAU	70-85	35-45	80-90	90-100
% maïs/SFP	20-50	30-50	0-20	0-5
% prairies/SFP	50-80	50-70	80-100	95-100
Type de prairies dominant	PT à base de RGA et trèfle blanc	PT : RGI et/ou graminées pérennes	PP	PP
UGB/ha SFP	1,4-1,7	1,6-1,9	1,1-1,4	0,8-1,0
Lait produit/vache (l)	6 500-8 000	7 500-8 000	6 000-7 000	6000-7000
Concentrés (g/litre)	200-220	220-250	180-250	230-280
Lait/ha SFP (litres)	5 000 - 9 500	6 000- 10 000	4 000- 6 000	3 000 - 5 500
Pression N organique (kg/ha épandable)	100-110	60-70	90-100	60-80
Excédent d'azote ¹ (kg/ha)	80-100	50-80	50-60	30-50
Pression P organique (kg/ha)	20-22	10-15	15-20	13-15
Excédent de phosphore (kg/ha)	10	5	10	10
Consommations d'énergie directe et indirecte (EQF/1000 litres lait)	92 (75-120)	106 (75-140)	95 (60-150)	105 (75-140)
Emissions brutes de gaz à effet de serre (Eq CO ₂ /litre de lait)	0,9-1,1	0,9-1,1	1-1,1	1-1,1
Emissions nettes de gaz à effet de serre après intégration du stockage de carbone sur prairies (Eq CO ₂ /litre de lait)	0,8-0,9	0,8-0,9	0,7-0,8	0,7-0,8
Pression de produits phytosanitaires (g/ha SAU)	800-1 200	1 100-1 500	400-600	0
Surface équivalente biodiversité (ares/1 000 litres lait)	18-22	15-19	28-32	38-42

1 : Bilan d'azote entrées – sorties à l'échelle de l'exploitation sans fixation symbiotique

Les excédents d'azote dépendent principalement du niveau d'intensification laitière (LE GALL *et al.*, 2005 ; RAISON *et al.*, 2008). Ils sont inférieurs à 60 kg par hectare dans les systèmes herbagers

des plaines du nord-ouest et de l'est et les montagnes humides. Ces faibles niveaux d'excédents associés à une part très importante de prairies garantissent de faibles pertes d'azote nitrique et donc des faibles teneurs en nitrates de l'eau, confirmées par des analyses cartographiques (MANNEVILLE *et al.*, 2008). Les systèmes de cultures fourragères de l'ouest de la France, plus intensifs, présentent des flux d'azote plus importants, avec des excédents compris entre 80 et 100 kg d'azote par hectare de SAU. Des progrès importants ont été réalisés au cours des vingt dernières années. Les excédents d'azote dans les fermes laitières bretonnes ont ainsi été divisés par deux, en raison des progrès réalisés sur la gestion des engrais de ferme et les apports d'azote minéral (RAISON *et al.*, 2008). L'évaluation du Programme de Maîtrise des Pollutions d'Origine Agricole (MANNEVILLE *et al.*, 2008) montre que ces progrès devraient se poursuivre, en lien avec un meilleur stockage des engrais de ferme et un raisonnement plus précis de la fertilisation. Les pertes d'azote par lessivage pourraient être ramenées entre 30 et 50 kg d'azote par hectare. Néanmoins, ces systèmes de cultures fourragères avec un taux de labour important et des intercultures présentent des risques de pertes d'azote plus importantes que les systèmes basés sur les prairies de longue durée, comme l'a montré le programme Green Dairy (RAISON *et al.*, 2008). Ces systèmes exigent donc une grande maîtrise technique sur les différents segments du système (alimentation des troupeaux, gestion des engrais de ferme et ajustement des apports d'azote minéral, cultures intermédiaires, pâturage maîtrisé de façon à éviter les transferts d'azote de l'étable vers les prairies...) pour atteindre les objectifs de qualité de l'eau fixés par la réglementation.

Les pressions de phosphore organique et les excédents de phosphore mesurés à l'échelle de l'exploitation sont compris entre 5 et 10 kg par ha de SAU. Des progrès importants ont été réalisés sur la fertilisation et les compléments minéraux des animaux mais des marges de progrès existent encore sur la fertilisation phosphatée du maïs, eu égard aux apports importants d'engrais starter. L'importance des prairies, la systématisation des bandes enherbées et cultures intermédiaires et les infrastructures bocagères des fermes laitières limitent les risques de ruissellement de phosphore et donc d'eutrophisation des cours d'eau.

Les consommations d'énergie directe (fuel et électricité) **et indirecte** (engrais et aliments du bétail) dans les systèmes laitiers français ont été documentées récemment (BEGUIN *et al.*, 2008). Elles s'élèvent à 97 EQF/1 000 litres (soit 3,5 MJ par litre) dans les exploitations laitières de plaine et 105 EQF/1 000 litres (soit 3,75 MJ par litre) dans les exploitations laitières de montagne, en raison d'une plus forte consommation d'énergie directe. Au sein des systèmes laitiers de plaine, la part respective d'herbe et de maïs et/ou de fourrages stockés n'est pas décisive. Seuls les systèmes très pâturants et basés sur les prairies d'association graminée - légumineuse apparaissent moins énergivores. La variabilité interne des types de système est importante. Les marges de progrès sur les consommations d'énergie directe et indirecte sont ainsi de l'ordre de 20 à 30%. Les consommations d'énergie sont beaucoup plus contrastées entre bassins laitiers au niveau mondial. Il faut 3 à 4 MJ pour produire un litre de lait dans l'ouest de la France, mais 5 MJ/litre aux Pays-Bas et seulement 1,4 MJ/litre dans les systèmes laitiers néo-zélandais basés sur le pâturage avec trèfle blanc.

Les émissions brutes de gaz à effet de serre ou "empreinte carbone" du lait seraient voisines de 1 kg équivalent CO₂ par litre de lait, proches des valeurs les plus communément citées. Dans nos évaluations, elles sont très proches d'un système laitier à l'autre et indépendantes de la production laitière individuelle, si l'on comptabilise l'ensemble des émissions et pas seulement le méthane entérique. Une partie de ces émissions brutes pourrait être compensée par la séquestration de carbone par les prairies. Cette dernière est encore mal quantifiée mais pourrait être d'environ 500 kg C stocké par ha et par an pendant les 30 premières années de vie de la prairie, 300 kg carbone entre 30 et 100 ans, hypothèses basées sur l'expertise collective de l'Inra (ARROUAYS *et al.*, 2002). Dans ces conditions, l'empreinte carbone du lait est plus faible dans les systèmes herbagers, basés sur les prairies de longue durée. Enfin, il ne faut pas négliger les effets positifs du carbone organique et donc de la matière organique produits par les herbivores sur la fertilité des sols et donc la productivité des agrosystèmes.

L'utilisation de produits phytosanitaires dépend de la part de cultures fourragères et céréalières dans les fermes laitières. La pression de produits phytosanitaires est voisine de 1 000 g de matière active par hectare de SAU dans les systèmes de cultures fourragères et de polyculture élevage. Elle est nettement plus faible dans les systèmes herbagers, voire nulle en montagne avec 100% de prairies permanentes

Les surfaces équivalentes en biodiversité, estimées à partir de la grille d'évaluation de la biodiversité retenue pour l'attribution de la Prime Herbagère Agro Environnementale (PHAE), seraient de l'ordre de 20 à 40 ares pour 1 000 litres de lait. Cet indicateur considère les surfaces contribuant à la biodiversité qualifiée d'ordinaire (prairies permanentes, temporaires, haies, infrastructures écologiques), favorables à la diversité des habitats, des espèces végétales, de la faune du sol, des mammifères, des oiseaux et insectes. L'indicateur est très lié à la part de prairies et à celle de structures bocagères présentes dans les fermes laitières. Il est donc plus élevé dans les systèmes herbagers. Ces surfaces favorables à la biodiversité contribuent aussi aux paysages de qualité.

1.2. Systèmes bovins viande : une forte contribution à la biodiversité

Les performances environnementales sont décrites pour quatre grandes familles de systèmes viande, différenciées par la présence ou non d'engraissement (Tableau 3). Au niveau des systèmes fourragers mis en œuvre, l'activité de naissance est presque exclusivement basée sur les prairies permanentes alors que l'activité d'engraissement est liée au maïs fourrage et aux céréales.

TABLEAU 2 – Description et performances environnementales des principaux systèmes de viande bovine français (SARZEAUD *et al.*, 2005 ; Réseaux d'Élevage, 2008 ; BELVÈZE *et al.*, 2009 ; travaux Institut de l'Élevage).

	Systèmes naisseurs légers	Systèmes naisseurs lourds	Systèmes naisseurs-engraisseurs de jeunes bovins	Systèmes naisseurs-engraisseurs de jeunes bovins + cultures
% SFP/SAU	90-97	90-97	80-90	50-55
% maïs/SFP	1-5	1-5	10-20	10-15
% prairies/SFP	95-99	95-99	80-90	85-90
Type de prairies dominant	PP	PP	PT et PP	PP et PT
UGB/ha SFP	1,0-1,2	1,1-1,2	1,4-1,8	1,4-1,8
Kg VV/ha SFP	300-350	350-400	600-900	500-750
Concentrés (kg/UGB)	350-410	400-700	500-800	750-1 000
Pression N organique (kg/ha)	80-100	90-100	110-150	65- 80
Excédent d'azote (kg/ha)	20-50	40-60	80-110	50-70
Excédent de phosphore(kg/ha)	3-8	3-8	0-10	2-5
Consommations d'énergie directe et indirecte (EQF/100 kg viande vive)	80 (43-124)	75 (45-105)	73 (55 –100)	70 (50-110)
Emissions brutes de gaz à effet de serre (Eq CO ₂ /kg viande vive)	12-15	12-15	15-20	15-20
Emissions nettes de gaz à effet de serre après intégration du stockage de carbone sur prairies (Eq CO ₂ /kg viande vive)	6-8	6-8	9-12	9-12
Pression de produits phytosanitaires (kg/ha SAU)	Quasi nulle	Quasi nulle	Faible	Fonction de la part de cultures
Surface équivalente biodiversité (ares/100 kg de viande vive)	48-52	38-42	20-25	15-20

Les excédents d'azote sont liés au niveau d'intensification, comme dans les systèmes laitiers. Ils sont faibles (inférieurs à 50 kg N/ha SAU) dans les systèmes naisseurs herbagers du centre de la France dont les chargements sont faibles (inférieurs à 1,4 UGB/ha SFP). Ils permettent de faibles teneurs en nitrates de l'eau, inférieures à 10 mg par litre, comme le montre la valorisation des données du Réseau National de Surveillance de la qualité de l'eau (MANNEVILLE, 2008). Les surplus du bilan de l'azote sont plus importants et proches de 100 kg d'azote par ha SAU dans les systèmes

naisseurs-engraisseurs, essentiellement localisés dans l'ouest de la France. Néanmoins, une analyse réalisée sur 39 élevages des Réseaux d'Élevage Pays-de-la-Loire et Deux-Sèvres (SARZEAUD, 2009) montre une réduction des apports d'azote minéral de l'ordre de 40% sur une période de 10 ans (1996-2006) et donc des excédents d'azote.

Les systèmes les plus intensifs de cette classe peuvent présenter des risques accrus de pertes d'azote par lixiviation. Ainsi, dans une étude conduite sur la station des Etablières en Vendée, CHAMBAUT (2009) note des pertes d'azote nitrique relativement importantes (supérieures à 50 kg/ha SAU) pour un système naisseur-engraisseur basé sur les cultures fourragères avec un chargement de 1,86 UGB/ha SFP. Ces pertes sont plus élevées que celles observées dans un système herbager, basé sur les prairies d'association graminées-trèfle blanc, à Crécom en Bretagne (de l'ordre de 35 kg/ha avec un chargement de 1,6 UGB/ha SFP ; LE GALL, non publié)

Les excédents de phosphore sont très faibles, car les apports d'engrais phosphatés sont très modérés. Les risques de pertes de phosphore par ruissellement sont donc faibles, d'autant qu'ils sont largement atténués par l'importance des surfaces en prairies et la présence de haies et talus.

Les consommations d'énergie directe (fuel et électricité) **et indirecte** (engrais et concentrés) sont en moyenne de 85 EQF pour 100 kg de viande vive (BELVÈZE *et al.*, 2009). Elles apparaissent très proches d'une famille de système à l'autre, à l'exception des systèmes naisseurs-engraisseurs de veaux qui présentent des consommations d'énergie plus importantes (105 EQF/100 kg viande vive) et des systèmes naisseurs-engraisseurs de bœufs (61 EQF/100 kg de viande vive), du fait d'une production de viande à l'herbe en cycle long. Comme pour les systèmes laitiers, on observe une grande variabilité des résultats au sein de chaque catégorie de système et des possibilités d'économies, de l'ordre de 30 à 40%. Ramenées au kilo de carcasse, les consommations d'énergie totale sont de l'ordre de 65 MJ par kilo et supérieures à celles observées pour la viande de porc (20 MJ par kg de carcasse), du fait de la longueur du cycle de production.

Les émissions brutes de gaz à effet de serre sont comprises entre 10 et 15 kg équivalent CO₂ par kilo de viande vive et sont peu variables d'un système à l'autre. Le stockage du carbone sous prairies, selon les hypothèses décrites précédemment, permet de compenser ces émissions de l'ordre de 30 à 50%, et d'autant plus que la part de prairies est importante. Les émissions nettes de gaz à effet de serre seraient ainsi de l'ordre de 6 à 12 kg équivalent CO₂ par kilo de viande vive, nettement supérieures à la viande de porc (2,3 kg Eq CO₂ par kilo vif d'après ESPAGNOL, 2008 et BASSET-MENS, 2005). Néanmoins, ce raisonnement exclusivement basé sur l'empreinte carbone des viandes peut conduire à des analyses tronquées. En effet, les systèmes viande bovine basés sur les prairies permanentes permettent de conserver des stocks importants de carbone dans les sols. Le changement d'affectation de ces prairies valorisées par l'élevage conduirait à déstocker du carbone, de façon importante dans les vingt années suivant le retournement des prairies. Ce déstockage de carbone est ainsi deux fois plus important et rapide que le stockage de carbone sous prairies. Les émissions de gaz à effet de serre d'une culture de céréales implantée après prairie sont ainsi supérieures à celles d'une prairie valorisée en viande herbivore !

Les surfaces équivalentes en biodiversité, évaluées selon la méthode décrite précédemment, seraient de 20 à 40 ares pour 100 kg de viande vive (soit 20 à 40 m² par kg de viande vive). La production de viande bovine à l'herbe permet donc de garantir la biodiversité ordinaire du territoire et de contribuer à la trame verte nationale. Il s'agit ici d'une différence très importante avec les productions de viande blanche.

Globalement, les systèmes producteurs de viande présentent donc de bonnes performances environnementales. Le principal point critique porte sur les émissions de gaz à effet de serre mais l'intégration de la séquestration de carbone par les prairies et de son déstockage éventuel dans le cas de changement d'affectation de ces surfaces permettent de porter un jugement nettement plus nuancé. On peut aussi considérer que cette fragilité est contrebalancée par les contributions positives de cette production à l'environnement, en particulier sur la biodiversité. D'autre part, il est utile de rappeler que la plupart des systèmes bovins viande valorisent des surfaces en herbe obligatoires et permettent une production de protéines nobles, qui ne le seraient pas sans l'élevage. Enfin, dans ces analyses, il faut éviter d'opposer les systèmes de production français, notamment les systèmes naisseurs herbagers et les systèmes naisseurs-engraisseurs basés sur les cultures fourragères car ils ne sont pas strictement indépendant. Il faudra ainsi réaliser les bilans écologiques complets des filières viande, intégrant l'activité d'engraissement réalisé dans un autre pays.

2. Positionnement des exploitations d'élevage par rapport à la certification "Haute Valeur Environnementale" définie suite au Grenelle de l'Environnement

Le Grenelle de l'Environnement a constitué un moment de débat sans précédent entre les pouvoirs publics, les acteurs socio-économiques et les associations écologistes autour de l'environnement. Il constitue l'expression française de préoccupations mondiales et européennes autour de l'environnement, portées par les organisations internationales (Onu, GIEC) et l'Union Européenne.

Plusieurs mesures du Grenelle de l'Environnement, actuellement en cours de traduction législative, portent sur l'agriculture. L'une d'entre elles consiste à certifier les exploitations agricoles sur le plan environnemental, avec l'objectif d'engager 50% des fermes d'ici 2012. Trois niveaux seraient considérés dans le cadre de cette certification, avec une notion de progressivité dans la performance environnementale, affichée pour 5 domaines (biodiversité, utilisation de produits phytosanitaires, gestion de l'azote et de la fertilisation, gestion quantitative de l'eau et consommations d'énergie).

Le premier niveau serait proche de la conditionnalité environnementale de la Politique Agricole Commune, signifiée par un autodiagnostic. Le second niveau porterait sur une obligation de moyens dans les domaines cités précédemment, articulée autour des démarches existantes, dont la Charte des Bonnes Pratiques en Elevage qui intègre 100 000 éleveurs bovins dans une démarche de progrès de l'exploitation bovine. Enfin, le troisième niveau, le plus abouti, viserait une agriculture à Haute Valeur Environnementale, avec obligation de résultats, évalués par des indicateurs reconnus et pertinents. Cette certification environnementale des exploitations agricoles n'est pas sans liens avec l'information environnementale des produits, y compris alimentaires, également issue des débats du Grenelle de l'Environnement. Des discussions sont en cours pour définir les indicateurs environnementaux appliqués aux différents produits alimentaires, puis préciser les valeurs. Cette information environnementale sur les produits devrait être opérationnelle en 2011.

Dans ce contexte, l'Institut de l'Elevage a conduit un travail visant à positionner les exploitations herbivores françaises par rapport aux indicateurs qui pourraient être retenus dans le cadre de cette certification à Haute Valeur Environnementale (Tableau 3). Ce travail est basé sur la valorisation des informations issues de la base de données des Réseaux d'Elevage de 2006 et concerne l'ensemble des productions d'herbivores (1 500 exploitations)¹.

TABLEAU 3 – Indicateurs environnementaux en discussion pour la certification Haute Valeur Environnementale des exploitations d'élevage d'herbivores (Institut de l'Elevage).

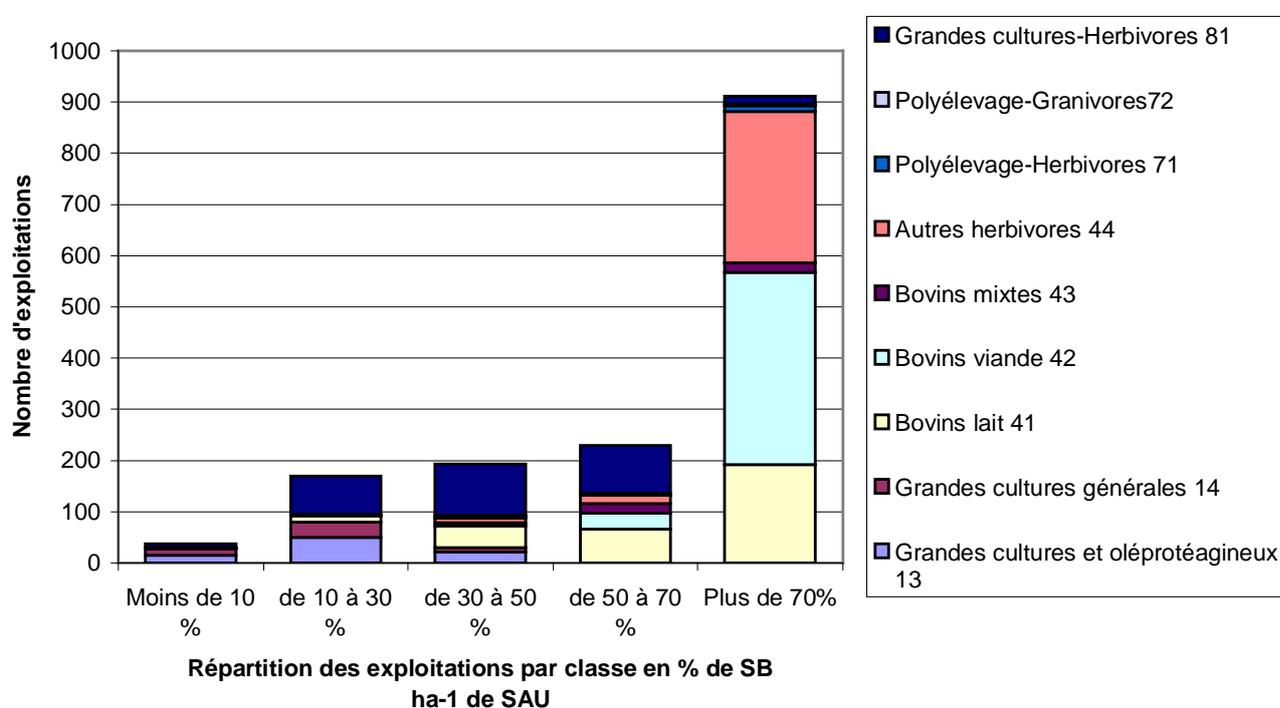
Domaine	Indicateurs
Biodiversité	% infrastructures agro écologiques/SAU
	% culture annuelle principale/surface assolable
Stratégie phytosanitaire	Indice de Fréquence de Traitement (IFT)
Gestion de la fertilisation	Entrées d'azote du bilan entrées/sorties à l'exploitation (kg/ha SAU)
	Excédent d'azote du bilan entrées/sorties à l'exploitation (kg/ha SAU)
Gestion quantitative de l'eau	Efficiencie de l'eau issue de l'irrigation
Energie	Consommations d'énergie directe (MJ par ha de SAU)
Ensemble	% intrants (charges opérationnelles + eau, gaz, électricité, transport, travaux par tiers / produits de l'exercice)

¹ Ces exploitations sont suivies dans le cadre d'une action partenariale associant des éleveurs volontaires, l'Institut de l'Elevage et les Chambres d'Agriculture, selon une approche globale de l'exploitation sur une durée d'au moins trois ans.

2.1. Une bonne partie des exploitations d'élevage d'herbivores présente une contribution positive à la biodiversité

La contribution des élevages d'herbivores à la biodiversité est évaluée selon les équivalences en surfaces "biodiversité". L'analyse montre que 98% des exploitations d'herbivores sont au-dessus du seuil de 10% d'infrastructures agro-écologiques² par hectare de SAU. 60% des exploitations ont plus de 70% de leurs surfaces en surfaces équivalentes en biodiversité (Figure 1). Pour évaluer la contribution de l'agriculture à la biodiversité, la diversité de l'assolement est souvent mise en avant. Un des indicateurs de la méthode IDEA postule qu'une culture annuelle ne doit pas représenter plus de 20% de la surface assolable, c'est-à-dire en dehors de la Surface Toujours en Herbe (STH). Cet indicateur n'est pas très pertinent pour les exploitations herbivores, qui disposent d'importantes surfaces en herbe. Les surfaces en cultures annuelles y sont le plus souvent consacrées aux céréales à paille et au maïs fourrage et il est fréquent que l'une de ces cultures dépasse alors ce seuil.

FIGURE 1 – Répartition des exploitations d'élevage d'herbivores selon la part de surface équivalente en biodiversité par rapport à la SAU (données Réseaux d'Elevage, 2006).

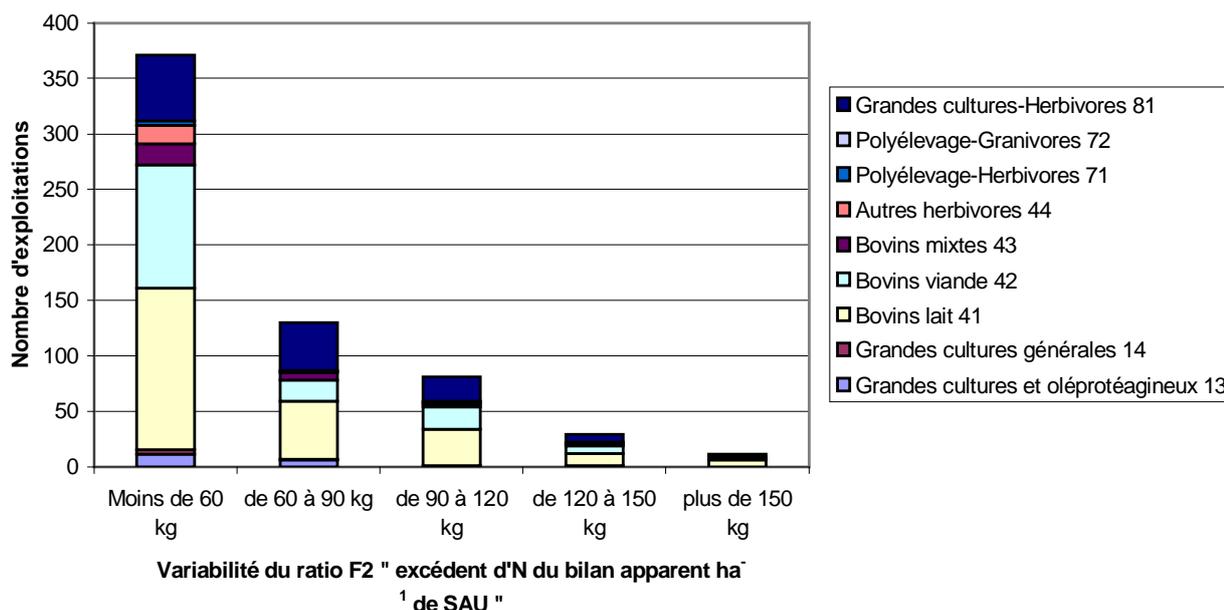


2.2. Des excédents d'azote modérés

Le bilan entrées / sorties de l'azote à l'échelle de l'exploitation a été réalisé, sans comptabiliser la fixation symbiotique de l'azote par les légumineuses, toujours difficile à appréhender de façon homogène. L'analyse montre que 80% des exploitations herbivores présentent un excédent d'azote inférieur à 90 kg/ha SAU et 60% affichent un bilan inférieur à 60 kg d'azote par hectare de SAU (Figure 2). Nos travaux montrent qu'en dessous de ces seuils, les différentes pertes d'azote et notamment celles d'azote nitrique sont globalement modérées et permettent une bonne qualité de l'eau, même s'il faut tempérer cette affirmation selon les conditions de milieu (type de sol, lame drainante) et le type de système fourrager. Peu d'exploitations laitières françaises présentent un excédent supérieur à 120 kg d'azote par hectare, alors que la majorité des exploitations laitières hollandaises ou irlandaises dépassent ce seuil, par exemple. Enfin, signalons que les excédents d'azote des bilans sont soumis à une forte variabilité inter annuelle, y compris à même conduite des systèmes (CHARDON, 2008).

² Prairies permanentes, temporaires, bandes enherbées, haies, lisières, mares, arbres isolés, murets...

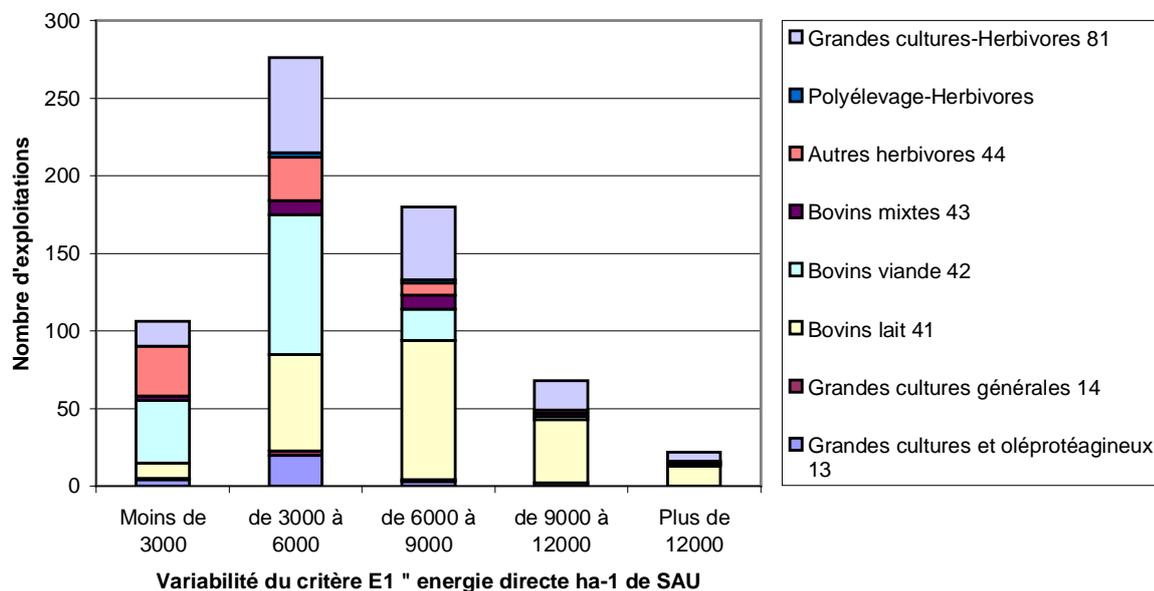
FIGURE 2 - Répartition des exploitations d'élevage d'herbivores selon l'excédent d'azote du bilan (données Réseaux d'Elevage, 2006).



2.3. Des consommations d'énergie directe liées à la réfrigération du lait et aux fourrages stockés

Pour apprécier les consommations d'énergie dans les systèmes d'élevage herbivore, il est possible de les ramener à l'unité produite (1 000 litres de lait ou 100 kg de viande vive) ou à l'hectare de SAU. Ce dernier indicateur permet surtout de considérer le niveau d'intensification du système agricole. Notre analyse montre que les consommations d'énergie directe (fuel et électricité) ramenées à l'hectare sont relativement faibles pour exploitations de bovins et ovins viande (Figure 3). Elles sont plus importantes pour les exploitations laitières, en lien avec la réfrigération du lait et les consommations de fuel liées aux fourrages stockés (culture, distribution, épandage des effluents d'élevage). En définitive, 85% des exploitations herbivores affichent des consommations d'énergie directe inférieures à 9 000 MJ/ha (soit 250 EQF/ha). A titre de comparaison, la consommation d'énergie directe (fuel et électricité) dans les exploitations de grandes cultures est voisine de 5 000 MJ/ha.

FIGURE 3 – Répartition des exploitations d'élevage d'herbivores selon la consommation d'énergie directe (données Réseaux d'Elevage, 2006).



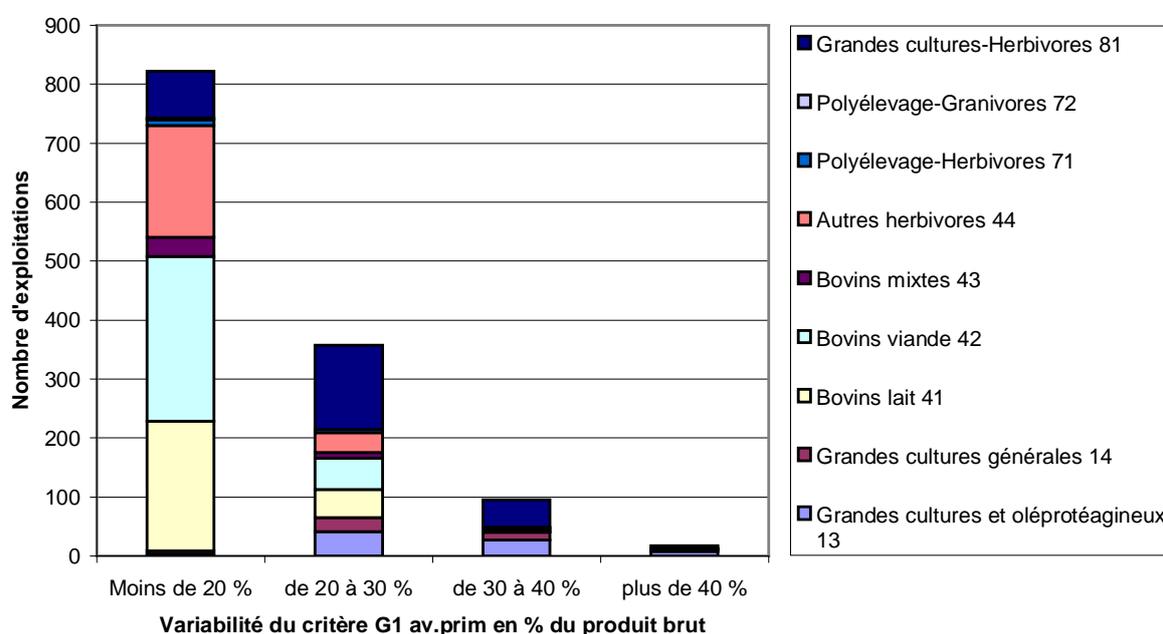
2.4. En France, les exploitations d'élevage d'herbivores sont peu concernées par la gestion quantitative de l'eau

La certification Haute Valeur Environnementale devrait également intégrer la gestion quantitative de l'eau, notamment celle dédiée à l'irrigation des cultures. Les exploitations d'élevage sont peu concernées par cette gestion quantitative de l'eau car moins de 1% de la surface en prairies est irriguée. Par ailleurs, seulement 10% des surfaces en maïs fourrage sont irriguées et concernent principalement les exploitations laitières situées dans les régions sèches du sud de la Loire (Vendée et Poitou-Charentes, Aquitaine, coteaux secs du Sud-Ouest, vallée du Rhône). Cependant, dans ces régions, le maïs irrigué peut constituer l'essentiel des surfaces fourragères. Enfin, les consommations d'eau pour l'abreuvement des animaux, le nettoyage du bloc traite, des bâtiments et du matériel sont de l'ordre de 5 à 6 litres par litre de lait et 10 litres par kg de viande vive, au niveau de l'exploitation. Il est évident que ces valeurs n'intègrent pas l'eau de pluie permettant d'assurer l'alimentation hydrique des fourrages et aliments, comme on peut le voir dans certaines publications, cette pluie n'étant pas déviée de son cycle naturel.

2.5. Un poids des intrants relativement faible

Le poids des intrants (charges opérationnelles, eau, gaz, électricité, travaux par tiers) ramené au produit brut de l'exploitation (intégrant les primes) permet de mesurer le niveau d'autonomie des élevages et donc le recours à des ressources extérieures. L'analyse montre que les exploitations d'herbivores sont peu dépendantes des intrants : plus de 90% des exploitations présente un poids des intrants rapporté au produit brut inférieur à 30% (Figure 4). Néanmoins, cet indicateur est très lié aux variations des prix des produits et intrants et est donc difficilement utilisable dans un contexte de volatilité croissante des prix, même avec un lissage sur 3 ans.

FIGURE 4 – Répartition des exploitations d'élevage d'herbivores selon le poids des intrants rapporté au produit brut (y compris les primes) (données Réseaux d'Elevage, 2006).



Cette analyse des systèmes d'élevage, à partir de quelques indicateurs représentatifs des différents domaines, montre que les exploitations herbivores présentent de bonnes performances environnementales. Une majorité d'entre elles pourrait sans doute prétendre à la qualification Haute Valeur Environnementale. Néanmoins, l'analyse a été réalisée sur les exploitations des Réseaux d'Elevage, plutôt optimisées dans la gestion des intrants et il est probable que ces résultats soient un peu plus favorables que la moyenne des élevages français. Il reste aussi à préciser les seuils d'appartenance mais aussi la méthode d'agrégation pour éviter toute exclusion abusive et permettre des compensations pour un indicateur lorsque l'élevage affiche par ailleurs de très bonnes performances.

3. Compatibilité entre performances environnementales et économiques

La relation entre les performances économiques et environnementales est souvent débattue. Plusieurs éléments issus de nos différents travaux tentent d'illustrer cette plus ou moins bonne compatibilité, car les contraintes réglementaires entraînent le plus souvent des surcoûts.

3.1. Limiter les intrants (engrais, aliments du bétail) conduit aussi à réduire les charges et peut améliorer l'efficacité économique

Le raisonnement et l'ajustement des intrants (engrais, aliments du bétail, énergie) aux objectifs de production (productions de fourrages, grains, lait et viande) permet de réduire les gaspillages et donc les pertes d'azote (nitrate, ammoniac, protoxyde d'azote) et émissions de CO₂ liées à ces ressources. Les observations réalisées sur les fermes laitières de Bretagne montrent ainsi que l'excédent d'azote a été divisé par deux en 15 ans, grâce à une amélioration de l'efficacité de l'azote, sans compromettre la production finale de lait, viande et céréales (RAISON *et al.*, 2008). Cette meilleure utilisation des intrants conduit aussi à comprimer les charges. Ainsi, la valorisation des résultats issus des exploitations des Réseaux d'Élevage lait (systèmes de plaine basés sur le maïs fourrage) montre que l'excédent d'azote du bilan à l'exploitation est naturellement bien relié au coût des engrais et concentré. La relation est nettement moins évidente avec le rapport entre l'Excédent Brut d'Exploitation et le Produit Brut, qui traduit l'efficacité économique, car plusieurs phénomènes interagissent.

Les récents travaux sur les consommations d'énergie directe et indirecte (BEGUIN *et al.*, 2008 ; BELVÉZE *et al.*, 2009 ; Tableau 4) montrent aussi que les systèmes les plus économes sur ce plan sont aussi ceux qui présentent la meilleure efficacité économique (Excédent Brut d'Exploitation/Produit Brut). Le coût de l'énergie directe et indirecte est ainsi compris entre 25 et 35 €/1 000 litres et 25 à 30 €/100 kg de viande vive. Tous les efforts liés à la bonne utilisation de ces ressources se répercutent donc directement sur ce poste de charges.

TABLEAU 4 – Comparaison des consommations d'énergie et caractéristiques principales des fermes en zone de plaine avec un système herbe-maïs.

	Quart inférieur	Moyenne	Quart supérieur
	Sur la consommation d'énergie/ 1 000 l		
Nombre de fermes	12	50	12
SAU (ha)	94	91	86
SFP (ha)	72	73	71
% maïs dans la SFP	20	20	18
Chargement apparent (UGB/ha)	1,35	1,34	1,26
N minéral/ha SFP	47	48	45
Nombre de VL	52	52	46
Lait produit (litres/VL)	7 017	6 831	6 609
Concentrés (kg/VL)	1 183	1 351	1 457
Fourrages utilisés atelier BL (t MS/UGB)	4,31	4,12	4,01
Lait produit (l)/ha SAU	4 005	3 957	3 583
Moy. Conso atelier BL (EQF/1 000 litres)	72	89	111
EQF électricité/1 000 l	15	18	24
EQF produits pétroliers/1 000 l	21	25	31
EQF fertilisation minérale/ 1 000 l	12	15	17
EQF alimentation/1 000 l	24	31	39
Moy. conso. exploit. (EQF/ha SAU)	376	434	471
EBE hors MO et foncier/PB (%)	55	50	48

3.2. La mise en conformité environnementale peut conduire à réaliser des investissements importants

Le Programme de Maîtrise des Pollutions d'Origine Agricole (PMPOA), initié par les pouvoirs publics afin d'aider les éleveurs à mettre en conformité leurs installations d'élevage avec la réglementation environnementale, a concerné près de 90 000 exploitations d'élevage entre 1994 et 2007. Ce programme, qui visait à améliorer le stockage et la valorisation des effluents d'élevage, a conduit à augmenter de façon conséquente les capacités de stockage, notamment dans les fermes laitières (x 2 pour les surfaces de fumières et x 2,5 pour les volumes de fosses à lisier), selon l'évaluation du programme réalisée par l'Institut de l'Élevage (MANNEVILLE *et al.*, 2008).

Les coûts de mise en conformité sont de 500 à 600 € par UGB lorsque l'on améliore l'existant mais de 1 000 à 1 200 €/UGB lorsque l'on construit un bâtiment neuf, cela pour le seul surcoût du stockage des effluents (Tableau 5). Pour les élevages bovins viande, les coûts sont nettement plus faibles : de 200 à 250 €/UGB lorsque l'on optimise l'existant et 400 à 600 €/UGB lorsque l'on fait du neuf. Les taux d'aides publiques sont proches de 35% dans les situations où l'on améliore l'existant et de 25% dans le cas de bâtiments neufs. Ces travaux représentent une charge annuelle de l'ordre 10 à 25 € pour 1 000 litres de lait et de 5 à 10 € pour 100 kg de viande vive, selon le niveau de modernisation. Cette mise en conformité doit entraîner une meilleure gestion des engrais de ferme et donc permettre des économies d'engrais (environ 5 à 10 € pour 1 000 litres lait). Il n'en demeure pas moins que ces travaux de mise en conformité environnementale peuvent constituer une charge significative pour les exploitations d'élevage, même s'ils ont souvent été combinés avec la modernisation des bâtiments. Par ailleurs, plusieurs enquêtes montrent que ce programme a contribué à accélérer la restructuration des élevages, notamment en production laitière, entraînant de nouveaux investissements et donc de nouveaux surcoûts par tonne de lait ou de viande.

TABLEAU 5 – Coûts de la mise en conformité des systèmes bovins lait et bovins viande (€/UGB).

Type de système	Coût	Amélioration de l'existant	Bâtiment neuf	Projet mixte
Bovins lait herbe et maïs limité	Devis	565	988	676
	Aide publique	191	231	210
Bovins lait maïs non limité	Devis	588	1 255	834
	Aide publique	211	302	245
Bovins viande naisseurs	Devis	207	416	450
	Aide publique	74	101	103
Bovins viande naisseurs et engraisseur de jeunes bovins	Devis	241	1 208	599
	Aide publique	89	137	100

3.3. Un élevage à hautes performances environnementales contribue à l'image des produits et à leur acceptabilité

L'impact de la qualité environnementale d'une activité sur la demande des produits, le commerce national et international, les prix et les aides publiques est toujours très délicat à appréhender. On peut considérer qu'une activité agricole à bonnes performances environnementales contribue à l'image des produits, à leur acceptabilité et garantit une demande suffisante et donc des prix plus élevés, ce qui n'est cependant pas encore le cas. Il n'y a pas ou pas encore de plus-value pour le lait et la viande issus d'herbe pâturée ou de foin de prairies permanentes, sauf à de très rares exceptions. Il y a indirectement ou plus globalement une plus-value pour les productions en agrobiologie ou sous AOC (Appellation d'Origine Contrôlée), où le consommateur accepte de payer un supplément pour la valeur santé, l'environnement, les paysages... Il serait logique que cette qualification Haute Valeur Environnementale conduise, d'une façon ou d'une autre, à une plus-value.

A contrario, les produits agricoles issus d'une agriculture à haute valeur environnementale peuvent être concurrencés par ceux des autres pays dont les normes environnementales sont moins strictes. Dans certains cas, on peut même craindre des risques de délocalisation de la production. Pour

parvenir à une agriculture à haute valeur environnementale, il est nécessaire d'avoir des politiques publiques cohérentes et pérennes permettant la mise en œuvre des mesures environnementales et sanitaires dans un cadre stabilisé et lisible. Il n'est pas acceptable pour les éleveurs européens d'avoir les contraintes environnementales les plus strictes du monde et de laisser entrer des produits alimentaires sans aucune garantie quant à leurs conditions de production...

4. Quelques illustrations de compromis techniques pour des élevages à haute valeur économique et environnementale

Quelques illustrations de compromis techniques autour de la conduite des fourrages sont présentées dans cette partie, afin que les élevages herbivores présentent une haute valeur économique et environnementale. Les techniques présentées visent une bonne efficacité des systèmes d'élevage, à la fois sur le plan environnemental et économique.

4.1. Des prairies permanentes productives pour stocker du carbone et contribuer à la biodiversité

Le maintien des prairies permanentes dans les systèmes d'élevage permet d'abord de maintenir les stocks importants de carbone dans les sols. Si besoin, les prairies permanentes pourraient être plus productives, grâce à l'introduction de trèfle blanc par sursemis. Les travaux réalisés sur ce point dans les années 1980 n'ont pas toujours été concluants mais il est sans doute opportun de reconsidérer cette technique. Les prairies permanentes contribuent largement à la biodiversité floristique, de la faune du sol et de l'entomofaune. Néanmoins, le maintien d'une haute biodiversité passe par la préservation de la diversité d'utilisation des surfaces au sein des exploitations et le maintien de parcelles à faibles niveaux d'intrants (FARRUGGIA *et al.*, 2006 ; DUMONT *et al.*, 2007). Pour les prairies permanentes, il faut donc trouver le compromis entre production fourragère et digestibilité suffisante, stockage de carbone et préservation de la biodiversité.

4.2. Le recours aux légumineuses : un des piliers de l'élevage à Haute Valeur Environnementale

L'azote minéral est très consommateur d'énergie (autour de 55 MJ, soit 1,5 EQF par kg d'azote). Aussi, les légumineuses sont un des leviers les plus efficaces pour réduire les consommations d'énergie dans les exploitations herbivores. Il faut ainsi 0,4 MJ pour produire une UFL avec une prairie de ray-grass anglais - trèfle blanc contre 1,2 MJ/UFL avec une prairie de ray-grass anglais fertilisé à l'azote minéral (BESNARD *et al.*, 2006 ; Tableau 6). Ces légumineuses permettent aussi de réduire les émissions de N₂O, liées à la fixation symbiotique. Le GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Etude sur le Climat) recommande ainsi de ne pas comptabiliser d'émissions de protoxyde d'azote lors de la fixation symbiotique, au motif que ce processus se déroule en conditions aérobies. Le recours aux légumineuses est donc l'un des piliers d'un élevage à Haute Valeur Environnementale. Il existe une littérature abondante sur la conduite des associations graminée - légumineuse (POCHON, 1982 ; LE GALL, 2005). Les principales difficultés portent sur la pérennité du trèfle blanc dans les prairies et le sursemis de trèfle blanc dans les prairies installées. Les expériences conduites sur ce dernier point montrent qu'il est nécessaire « d'ouvrir » suffisamment la prairie pour que les graines sursemées puissent se développer.

TABEAU 6 – Efficience énergétique des prairies et du maïs fourrage après prairie (adapté de BESNARD *et al.*, 2006).

	Consommations d'énergie (MJ/ha)	Production fourragère (UFL/ha)	Efficience énergétique (MJ/UFL)
RGA pâturé + 150 N/ha	9 100	7 600	1,2
RGA - trèfle blanc pâturé	3 000	7 500	0,4
Maïs fourrage après prairie	7 000	12 150	0,6
Maïs fourrage + 20 t fumier après blé	10 050	10 500	0,95

4.3. Du maïs économe et propre avec des engrais de ferme et des cultures intermédiaires

Le maïs fourrage fertilisé avec des engrais de ferme et en rotation avec des prairies permet d'assurer une forte production fourragère, sans apports d'azote complémentaires et de réduire les problèmes de désherbage et donc l'utilisation de produits phytosanitaires. La maîtrise des apports d'azote combinés à l'implantation de cultures intermédiaires permet aussi de limiter les pertes d'azote par lessivage. BESNARD et LE GALL (1999) montrent que les pertes d'azote nitrique sont ainsi réduites d'environ 50% dans le cadre d'une succession maïs-maïs et de 60 à 90% dans le cadre d'une succession blé-maïs. Toutefois, les systèmes de cultures fourragères, basés sur les successions de maïs, céréales, prairies apparaissent plus risquées par rapport aux pertes d'azote nitrique que les systèmes herbagers, basés sur les prairies de longue durée (RAISON *et al.*, 2008 ; VERTÈS *et al.*, 2007).

Dans ces conditions de culture, l'efficacité énergétique du maïs fourrage est ainsi très bonne (0,6 à 0,95 MJ/UFL, BESNARD *et al.*, 2006 ; Tableau 6). Néanmoins, il faut aussi rajouter les coûts énergétiques liés à la distribution des fourrages stockés et au temps de stabulation (paillage, raclage, curage, transfert). Cette consommation de fuel est de l'ordre de 5,5 litres de fuel par mois de distribution de fourrages (DOLLÉ, 2009), ce qui correspond environ à 0,55 MJ par UFL de maïs fourrage consommé.

4.4. Du pâturage pour maîtriser les coûts et limiter les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre

Lorsque la production d'herbe est suffisante, le pâturage est le meilleur moyen de maîtriser les coûts de production. C'est aussi une bonne manière de réduire les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre. Le pâturage permet ainsi de limiter les coûts énergétiques liés à la récolte des fourrages, puis à la gestion et l'épandage des déjections animales collectées en bâtiments. De la même façon, les émissions de CH₄ et de N₂O liées à la gestion des déjections, du bâtiment à l'épandage, sont plus importantes que celles observées pour les déjections restituées au pâturage (DELTOUR *et al.*, 2009). Ainsi, les émissions totales de gaz à effet de serre sont inférieures de 25 à 35% avec le pâturage par rapport aux fourrages stockés. Cet avantage de la prairie pâturée est encore plus marqué lorsque celle-ci est conduite avec des légumineuses prairiales, permettant de limiter fortement les apports d'azote minéral. Néanmoins, des émissions plus importantes de protoxyde d'azote ou de lessivage d'azote ont pu être observées lorsque le pâturage intervient en conditions humides ou tardives (DE KLEIN et ECKARD, 2008). Enfin, les pertes d'azote sous prairies pâturées restent modérées pour des fertilisations inférieures à 200 kg N minéral/ha et des taux de trèfle blanc inférieurs à 50% en été (VERTÈS *et al.*, 2007).

4.5. Une fertilisation essentiellement basée sur les engrais de ferme

La réduction des pertes d'azote par lessivage, des risques de transfert de phosphore et des émissions d'ammoniac et de gaz à effet de serre passe par une maîtrise des flux d'azote et phosphore aux différents maillons du système, de l'étable au champ. La bonne gestion et le recyclage des engrais de ferme sur les surfaces fourragères combinés aux légumineuses prairiales doit permettre de réduire très fortement les achats d'engrais minéraux, à l'exception de compléments d'azote minéral pour les céréales et de potasse pour stimuler le trèfle blanc dans les prairies. Les faibles excédents des minéraux dans les fermes d'élevage s'obtiennent d'abord par la réduction des apports de fertilisants minéraux et la bonne gestion des engrais de ferme.

Toutes ces économies d'engrais minéraux ont un impact significatif sur les émissions de gaz à effet de serre, de l'ordre de 12 kg Equivalent CO₂ par kg d'azote (en intégrant les émissions lors de la fabrication de l'engrais et les émissions directes et indirectes, consécutives au lessivage de l'azote) et 0,6 kg Equivalent CO₂ par kg d'acide phosphorique.

Les techniques d'épandage du lisier peuvent aussi affecter les différentes pertes d'azote vers l'air et l'eau. L'injection ou le dépôt de surface de lisier permettent de réduire les émissions d'azote ammoniacal et d'accroître l'efficacité de l'azote apporté. Des émissions plus importantes de protoxyde d'azote lors d'injection de lisier en conditions humides ont été parfois rapportées, en raison d'anaérobiose, mais les émissions globales de gaz à effet de serre restent plus faibles avec cette technique, du fait de moindres émissions indirectes (DE KLEIN et ECKARD, 2008). Enfin, plusieurs

travaux conduits en Nouvelle-Zélande montrent l'effet positif d'apports d'inhibiteurs de nitrification sur des prairies pâturées, par épandages ou diffusion par un bolus dans le rumen des animaux au pâturage. Ces inhibiteurs, apportés en automne et hiver, permettent de différer la transformation de l'ammonium en nitrate. Les résultats obtenus montrent une réduction des émissions de N₂O d'environ 50% et des pertes d'azote nitrique comprises entre 20 et 40% (MONAGHAN *et al.*, 2007), mais ces résultats doivent être confirmés dans les conditions européennes.

4.6. Des sources de protéines européennes pour réduire les émissions de CO₂ liées aux concentrés

Les émissions de méthane entérique représentent environ 35% des émissions totales de gaz à effet de serre d'une ferme d'élevage. Néanmoins, les marges de manœuvre pour réduire ces émissions de méthane semblent limitées. Seul l'apport de certains acides gras polyinsaturés pourraient avoir un effet (réduction des émissions de CH₄ de 23% pour un apport de lin représentant 10% de la ration totale ; MARTIN *et al.*, 2007), mais ces effets doivent être confirmés sur le temps long. Les voies les plus efficaces pour réduire l'impact "carbone" des aliments du bétail consistent à ajuster les apports de concentrés, en valorisant correctement les fourrages dans la ration et à choisir des sources de protéines européennes. Le coût "carbone" du tourteau de colza métropolitain est inférieur à celui du tourteau de soja sud-américain, surtout lorsque l'on intègre le déstockage de carbone suite à la déforestation amazonienne. L'Unip (2009) a ainsi montré que l'utilisation de légumineuses européennes pour la complémentation des vaches laitières, en remplacement du tourteau de soja, permettait de réduire l'empreinte carbone du lait de l'ordre de 15% (projet GLIP). Alors que les volumes de tourteaux de colza, coproduits des agrocarburants, devraient augmenter (ROUILLÉ et BRUNSCHWIG, 2008), cette utilisation de sources de protéines européennes doit être naturellement encouragée, d'autant qu'elle autorise une production de lait et de viande sans aliments OGM. D'autre part, les apports de tourteaux de colza, plus riches en phosphore que les tourteaux de soja, devraient aussi permettre de réduire fortement les achats d'engrais phosphatés.

Conclusion

La majorité des systèmes d'élevage herbivores français présente de bonnes performances environnementales, notamment lorsque l'on intègre les aspects relatifs à la biodiversité ou à l'utilisation des produits phytosanitaires. Ceux-ci viennent contrebalancer les émissions de gaz à effet de serre de ces systèmes. Ces bonnes performances environnementales sont principalement permises par la prairie permanente et temporaire, qui conserve une part encore centrale de ces systèmes. Les systèmes d'élevage les plus intensifs, basés sur les cultures fourragères, présentent davantage de fragilités au niveau environnemental mais les progrès réalisés ou à venir dans la gestion des flux d'azote, de phosphore et de carbone laissent augurer de performances satisfaisantes.

Dans la plupart des fermes d'élevage d'herbivores, il existe ainsi des solutions pour améliorer les bilans économiques et écologiques mais il faut les raisonner globalement au niveau de l'exploitation, pour éviter les transferts de pollution et les coûts indirects d'une technique qui pourrait être vertueuse en tant que telle mais nettement moins au niveau global. Dans la plupart des cas, il s'agit surtout d'intégrer des techniques déjà connues, qui relèvent d'un apprentissage pratique, et non de croire aux solutions miracle !

Les exploitations d'élevage herbivores sont donc bien placées pour la certification environnementale mais les indicateurs doivent être pertinents, compréhensibles avec sans doute des seuils différents selon les milieux et les systèmes. La méthode d'agrégation doit aussi être intelligente pour éviter toute exclusion abusive et permettre des compensations.

Les aspects environnementaux et économiques ont été traités dans ce papier mais il faut aussi considérer les aspects sociaux, autre pilier de la durabilité. *In fine*, il s'agit bien de mettre en œuvre des systèmes performants sur le plan environnemental et économique mais aussi viable et vivable. pour les éleveurs, leurs familles et leurs voisins.

Remerciements : Ce texte est le fruit d'un travail collectif de l'Institut de l'Élevage. Au-delà des co-auteurs, sont remerciés : S. Bertrand, H. Chambaut, C. Raison, J. Belvèze, P. Sarzeaud.

Références bibliographiques

- ARROUAYS D., BALESSENT J., GERMON J.C., JAYET P.A. SOUSSANA J.F., STENGEL P. (2002). Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? expertise scientifique collective. Rapport. INRA, 332pp.
- BASSET-MENS C (2005). Propositions pour une adaptation de l'Analyse de Cycle de Vie aux systèmes de production agricole. Mise en oeuvre pour l'évaluation environnementale porcine. Thèse ENSAR, Rennes, France. 241 p.
- BEGUIN E. (2008). Les consommations d'énergie dans les systèmes bovins laitiers : repères de consommations et pistes d'économies. Document synthèse, Institut de l'Élevage. 31 p.
- BELVÈZE J. (2009). Les consommations d'énergie dans les systèmes bovins viandes : repères de consommations et pistes d'économies. Document synthèse, Institut de l'Élevage. 33 p.
- BESNARD A., MONTARGES-LELLAHI A., HARDY A. (2006). Système de culture et nutrition azotée. Effets sur les émissions de GES et le bilan énergétique. Fourrages, 187, 311-320.
- BESNARD A., LE GALL A. (2000) : Les cultures fourragères intermédiaires : piège à nitrates et fourrages d'appoint ? Fourrages, 163, 293-306.
- CHAMBAUT H. (2009). Evaluation des pertes d'azote à l'échelle des exploitations bovines : suivi dans les stations expérimentales des Pays de la Loire. Collection Résultats. Institut de l'Élevage.
- CHARDON X. (2008). Evaluation environnementale des exploitations laitières par modélisation dynamique de leur fonctionnement et des flux de matières : développement et application du simulateur Mélodie. Thèse AgroParisTech – Inra – Institut de l'Élevage. 230 p + annexes.
- DELTOUR L., DOLLÉ J.B, ESPAGNOL S., LAGADEC S., LELLAHI A., PONCHANT P., MALAVAL C., CARIOLLE M. (2009). Guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles su l'effet de serre. A paraître.
- DOLLÉ J.B. (2009). Les consommations d'énergie en bâtiment d'élevage laitier : repères de consommations et pistes d'économie. Document synthèse, Institut de l'Élevage. 31p.
- DUMONT B., FARRUGGIA A., GAREL J.P. (2007) : Pâturage et biodiversité des prairies permanentes. Renc. Rech. Ruminants, 14, 17-24.
- ESPAGNOL S. (2008). Construction d'un outil d'évaluation des impacts environnementaux des exploitations d'élevage. Rapport MISSION DARAAP 2005 numéro 360. IFIP, Institut de l'Élevage, Inra. 130 p.
- FARRUGGIA A., DUMONT B., D'HOOR P., EGAL D., PETIT M. (2006). Grass and forage science, 61, 347-353.
- DE KLEIN C. A. M., ECKARD R. J. (2008). Targeted technologies for nitrous oxide abatement from animal agriculture. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2008, 48, 14–20
- LE GALL A. (2004). Associations graminées-trèfle blanc, le pâturage gagnant, Brochure Institut de l'Élevage, Chambres d'Agriculture Bretagne et Pays-de-la-Loire, 64 p.
- LE GALL A.; VERTÈS F.; PFIMLIN A.; CHAMBAUT H.; DELABY L., DURAND P., VAN DER WERF H.M.G., TURPIN N. ET BRAS A. (2005). Nutrient management at farm scale. How to attain policy objectives in regions with intensive dairy farming ? - France. In : Nutrient management at farm scale. How to attain policy objectives with intensive dairy farming ? Bos, J.;Pflimlin A.;Arts, F.;Vertès, F.(Eds). First Workshop of the EGF Working Group "Dairy Farming Systems and Environment" 23-25 juin 2003, Quimper, FR. 111-139
- MANNEVILLE V., LEQUENNE D., LE GALL A., LUCBERT J. (2008). Evaluation du Programme de Maîtrise des Pollutions d'Origine Agricole. Collections Résultats. Institut de l'Élevage. 154 p.
- MARTIN C., FERLAY A., CHILLIARD Y., DOREAU M. (2007). Rumen methanogenesis of dairy cows in response to increasing levels of dietary extruded linseeds. In Energy and protein metabolism and nutrition. 6009-610.
- MONAGHAN R.M., HEDLEY M.J., DI H.J., MCDOWELL R.W., CAMERON K.C., LEDGARD S. (2007). Nutrient management in New Zeland pastures. Recent developemnts and future issues. New Zealand Journal of Agriculture Reserarch, 50, 181-201.
- POCHON (1981). La prairie à base de trèfle blanc. Iteb.
- Réseaux d'élevage (2008). Les systèmes bovins laitiers en France, coll. Synthèse, Institut de l'Élevage, Paris, 32 p.
- Réseaux d'élevage (2008). Les systèmes bovins viande en France, coll. Synthèse, Institut de l'Élevage, Paris, 23 p.
- RAISON C., CHAMBAUT H., LE GALL A., PFLIMLIN A. (2008). Impact du système fourrager sur la qualité des eaux. Enseignements issus du projet Green Dairy. Fourrages, 193, 3-18.
- SARZEAUD P. (2009). Evolution des apports d'éléments fertilisants sur un échantillon constant de 39 élevages des Réseaux d'Élevage Pays de la Loire et Deux Sèvres. Communication personnelle.
- SARZEAUD P., BENOITEAU G., BISSON P., BOUET J-M., CARTERON P., GALISSON B., GUILLAUME A., CARRÉ J.Y., HENRY J-M., OFFREDO T., VEILLAUX C. (2005). Optimisation des bilans des minéraux dans les systèmes bovins viande de l'Ouest. Renc. Rech. Ruminants, 12, 191-194.
- VERTÈS F., SIMON J.C., LAURENT F., BESNARD A. (2007) : "Prairies et qualité de l'eau. Evaluation des risques de lixiviation d'azote et optimisation des pratiques", Fourrages, 192, 423-440.