

Consommation d'énergie et gaz à effet de serre : Quelles perspectives à l'échelle d'une exploitation d'élevage ?

J.-F. Soussana

L'émergence des préoccupations liées au changement global présente bien sûr des risques pour les systèmes d'élevage, mais aussi sans doute des opportunités dont il faudra savoir tirer parti. Quelles sont les forces et les faiblesses de la filière prairie - élevage dans ce nouveau contexte ?

RÉSUMÉ

La synthèse des travaux présentés lors des Journées AFPP du printemps 2006 met en valeur la nécessité d'une analyse fine des flux (d'énergie, d'azote, de carbone, de gaz à effet de serre) à l'échelle de l'ensemble de l'exploitation pour pouvoir porter des diagnostics et envisager des améliorations (réduction des consommations énergétiques ou des émissions de GES, production de bioénergie, stockage de carbone...). Des travaux de recherche sont nécessaires pour mettre au point des outils de diagnostic et de bilan simples et fiables, qui seront d'autant plus nécessaires que les systèmes auront à s'adapter à un nouveau contexte (énergétique, climatique, sociétal...).

MOTS CLÉS

Analyse énergétique, azote, carbone, changement climatique, évolution, gaz à effet de serre, méthode, système d'exploitation, système fourrager.

KEY-WORDS

Carbone, climatic change, energy analysis, evolution, farming system, forage system, greenhouse-effect gas, method, nitrogen.

AUTEUR

INRA, Unité d'Agronomie (URAC), Equipe Fonctionnement et Gestion de l'Ecosystème Prairial, 234, Av. du Brézat, F-63100 Clermont-Ferrand ; soussana@clermont.inra.fr

Introduction

La prise de conscience récente de l'impact des activités humaines sur le climat s'accompagne d'un ensemble de questions nouvelles. Comment freiner le changement climatique, en réduisant les émissions anthropiques de gaz à effet de serre qui en sont la cause principale ? Comment s'adapter à ce changement et à la variabilité du climat ? Comment réduire notre consommation d'énergies fossiles et leur substituer des énergies renouvelables, comme celles issues de la biomasse végétale ?

A l'instar d'autres secteurs de la société, le secteur agricole se trouve aujourd'hui pris dans ce débat, dont les enjeux sont importants :

- les conditions mêmes de la production agricole sont amenées à évoluer en quelques décennies, sous l'influence de modifications du climat et de la composition de l'atmosphère (SEGUIN et SOUSSANA, 2006) ;

- les émissions nettes de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote...) par les activités agricoles sont aujourd'hui comptabilisées, dans le but de pouvoir ensuite les réduire (GABORIT et VINCENT, 2006) ;

- la production de bioénergie par l'agriculture semble pouvoir augmenter rapidement du fait du renchérissement du prix des énergies fossiles (RIEDACKER *et al.*, 2006).

Dans ce contexte, **les exploitations d'élevage se trouvent confrontées à des risques, mais aussi à des opportunités** :

- risques, concernant la vulnérabilité du système fourrager, en particulier, et du système d'exploitation en général, vis-à-vis d'épisodes climatiques extrêmes (comme la canicule et la sécheresse estivales) dont la fréquence et l'intensité pourraient augmenter avec le changement climatique (SEGUIN et SOUSSANA, 2006) ;

- opportunités, concernant d'une part les économies d'énergie et la production de bioénergie à la ferme et, d'autre part, une réduction des émissions nettes de gaz à effet de serre (GES) pouvant faire l'objet de politiques incitatives.

Comment faire face à ces risques et tirer parti de ces opportunités ? **Quelles sont les forces et les faiblesses de la filière prairie - élevage dans ce nouveau contexte ? Quels outils de diagnostic et de prévision faut-il développer ?** Autant de questions qui ont été largement débattues lors de ces Journées de Printemps de l'AFPF ayant permis d'illustrer à quel point les enjeux de l'énergie, de l'effet de serre et du changement climatique étaient interconnectés à l'échelle d'une exploitation d'élevage. Ces débats seront évoqués en deux temps :

- L'état des lieux : comment apprécier le bilan des exploitations au regard de l'énergie et de l'effet de serre ?

- Les améliorations possibles : quelles sont les pistes pour améliorer ces bilans et produire des énergies renouvelables à partir de la biomasse ?

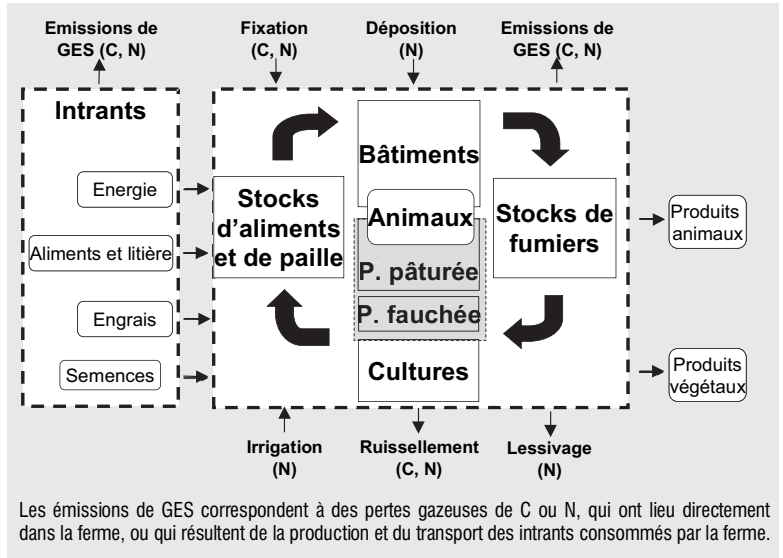
En conclusion, les enjeux à plus long terme liés au changement climatique et à la variabilité du climat seront évoqués.

1. Quels bilans d'énergie et de gaz à effet de serre ?

Une exploitation agricole rassemble deux caractéristiques complémentaires : en tant qu'unité de gestion, elle est le lieu incontournable de décision des pratiques agricoles ; en tant qu'unité de production, elle gère des parcelles, des animaux, des bâtiments et des stocks qui contribuent à son bilan environnemental en générant des flux d'énergie et de matière, notamment sous forme de gaz à effet de serre (figure 1).

FIGURE 1 : Schématisation des flux de carbone (C), d'azote (N) et de gaz à effet de serre (GES) dans une ferme d'élevage (d'après FIORELLI *et al.*, en préparation).

FIGURE 1 : Diagram showing the flows of carbon (C), nitrogen (N) and greenhouse-effect gases (GES) on an animal farm (after FIORELLI *et al.*, in preparation).



Ces flux sont étroitement interdépendants et leur cohérence ne peut être comprise qu'à l'échelle de la ferme, en fournissant une description quantitative de l'ensemble des flux de carbone, d'azote et d'énergie générés par son activité. Ces interactions sont particulièrement fortes dans les fermes d'élevage de ruminants qui, à la différence des cultures annuelles (et des élevages intensifs de porcs et de volailles), recyclent sur place une part importante des matières organiques (figure 1). Chaque étape de ce recyclage s'accompagne d'une production ou d'une consommation d'énergie et d'échanges nets avec l'atmosphère de gaz à effet de serre. La ferme consomme également des intrants (engrais, aliments concentrés, électricité...), dont la production a nécessité de l'énergie et a généré des GES (figure 1). La construction de bilans à l'échelle de la ferme est donc pertinente à la fois en tant qu'outil de diagnostic et d'aide à la gestion et afin de représenter l'ensemble des interactions entre flux.

Les bilans qui sont proposés pour les fermes diffèrent beaucoup par leurs objectifs (énergie ou gaz à effet de serre), par leurs unités (en équivalents pétrole, en unités d'énergie, ou en équivalents CO₂, par hectare ou par unité de produit agricole), par

leur périmètre (limités, ou non, à certains gaz à effet de serre et à certains processus) et par leurs méthodes (de l'enquête à la modélisation). De plus, les différents outils proposés n'ont pas encore été comparés et, au moins dans le domaine des gaz à effet de serre, leur précision n'est pas connue.

Les démarches qui ont été présentées relèvent de deux catégories : bilan d'énergie fossile et bilan de gaz à effet de serre des fermes d'élevage.

■ Bilan d'énergie fossile des fermes d'élevage

La comptabilité énergétique des fermes convertit en unités d'énergie fossile les différentes catégories d'intrants (engrais, phytosanitaires, aliments, électricité, fuel...) pour obtenir un prix de revient énergétique des produits végétaux ou animaux. Cette démarche, plus simple que celle qui concerne les gaz à effet de serre, revient donc à construire un bilan en unités énergétiques des achats d'intrants et des ventes de produits, sans décrire l'ensemble des flux internes à l'exploitation (BOCHU, 2006 ; CHARROIN *et al.*, 2006).

Les difficultés associées à ce type de comptabilité ont été évoquées :

- Faut-il comptabiliser l'énergie fossile "grise" qui a été dépensée pour la construction des bâtiments et des équipements de la ferme ?

- Comment prendre en compte les surfaces hors exploitation (par exemple, la culture de soja au Brésil) et les dépenses énergétiques associées à la production et au transport de ces intrants ?

- Quelle valeur accorder à l'efficacité énergétique, c'est-à-dire au ratio entre l'énergie fossile consommée et l'énergie contenue dans les produits végétaux et animaux ? Selon ce critère, la culture de céréales est préférable à l'élevage des ruminants, mais on néglige le fait qu'une part importante des céréales n'est pas destinée à l'alimentation humaine, mais à l'alimentation animale.

- Comment comparer des systèmes de production différents ? Les systèmes extensifs consomment moins d'énergie par hectare, mais ils produisent aussi moins que les systèmes intensifs (BOCHU, 2006 ; CHARROIN *et al.*, 2006).

- Comment relier les indicateurs énergétiques à d'autres indicateurs environnementaux, qui n'ont pas forcément de prix mais une valeur (stocks de carbone des sols, biodiversité...) ?

Ces remarques incitent à **prendre en compte toutes les catégories d'intrants lors de la construction de bilans énergétiques, à utiliser des typologies de systèmes d'exploitation** pour ne comparer que des systèmes comparables et, enfin, à **élargir le débat pour ne pas prendre comme seul critère l'efficacité énergétique d'un système de production.**

■ Bilan de gaz à effet de serre des fermes d'élevage

Plus complexe à calculer, le bilan de gaz à effet de serre d'une ferme est **aussi plus complet**. Il intègre le bilan énergétique (grâce à la conversion des unités d'énergie fossile en équivalents CO₂) et l'élargit afin de calculer les équivalents CO₂ qui sont échangés avec l'atmosphère du fait de l'activité agricole. Il est ainsi possible d'évaluer le rôle d'une ferme pour l'effet de serre. Ce rôle peut être négatif (la ferme constitue alors une source nette de gaz à effet de serre), proche de la neutralité (l'absorption nette de CO₂ par les parcelles équilibrant les autres émissions), voire positif si la ferme constitue un puits net de GES.

Pour être complet, un bilan de gaz à effet de serre devrait porter sur l'ensemble des gaz qui agissent, directement ou indirectement, sur le bilan radiatif (SEGUIN et SOUSSANA, 2006) et inclure l'ensemble des flux générés par l'activité agricole, y compris les émissions de GES associées aux intrants (figure 1). Toutefois, **peu de méthodes sont encore complètes** :

- certains flux sont encore mal connus à l'échelle de la parcelle (par exemple, les échanges de NO_x ou de NH₃ ; SOUSSANA *et al.*, 2006) et ils n'ont pas encore été intégrés dans les bilans à l'échelle de la ferme ;

- les échanges nets de CO₂ de la ferme sont encore rarement intégrés aux bilans de GES, qui ne prennent souvent en compte que les émissions de méthane et de protoxyde d'azote (SCHILS *et al.*, 2006b) ;

- enfin, certains bilans portent sur une seule composante de la ferme (les bâtiments, les parcelles ou les effluents d'élevage).

On peut donc faire le constat :

- de l'intérêt porté à cette question par les acteurs de la filière, intérêt qui se traduit par la construction d'une gamme importante d'outils de diagnostic ;

- de l'importance des références nationales, qui sont encore insuffisamment documentées aussi bien en ce qui concerne les bâtiments d'élevage que les prairies ;

- de la nécessité d'une méthode de référence complète et facilement applicable à l'échelle de la ferme afin de disposer d'un outil de diagnostic aussi fiable que possible du bilan de GES.

Ce dernier constat peut sembler paradoxal, puisqu'**une méthodologie internationale a été conçue par le GIEC** pour les inventaires nationaux de GES (IPCC, 1996, 2001). Toutefois, **l'adaptation de cette méthodologie à l'échelle d'une ferme d'élevage pose un ensemble de questions dont certaines sont encore du domaine de la recherche** :

- Les valeurs par défaut des facteurs d'émission du GIEC pour le méthane et le protoxyde d'azote ne sont pas toujours adaptées aux conditions spécifiques à de nombreux élevages français (aires paillées, bâtiments peu ventilés par exemple : DOLLÉ et ROBIN, 2006).

De plus, ces valeurs correspondent à des moyennes, qui ne reflètent pas la variabilité du climat, des sols et des pratiques agricoles, et tendent ainsi à lisser les différences entre exploitations.

- La méthodologie GIEC ne propose pas de facteur d'émission ou d'absorption pour le CO₂, mais demande aux Etats d'inventorier les stocks de carbone organique des sols. L'état des connaissances dans ce domaine (INRA, 2002 ; SOUSSANA *et al.*, 2004) montre que, pour estimer la variation des stocks de carbone organique du sol, il faut disposer d'un historique des pratiques agricoles de chaque parcelle portant sur une période de plusieurs décennies. Cette dimension pluriannuelle fait souvent défaut dans les informations disponibles, ce qui introduit une incertitude majeure dans le bilan de GES (VUICHARD *et al.*, 2006).

- Comme pour le bilan d'énergie, d'autres données manquent généralement. Par exemple, l'organisation des chantiers de travail et le réglage des moteurs des tracteurs peuvent affecter de manière importante la consommation de fuel pour un même itinéraire technique (COUVREUR, 2006, cet ouvrage).

Il importe donc d'être conscient des nombreuses limites des bilans de GES qui peuvent actuellement être proposés à l'échelle de la ferme et toujours accompagner ces bilans d'une évaluation de leur incertitude. Au plan de la recherche, plusieurs modèles sont en cours de construction et de validation (tableau 1) et d'autres développements sont prévus, notamment dans le cadre de projets Européens du 6^e PCRD (comme CarboEurope IP et NitroEurope). Au plan du développement, différents projets ont également débuté (HACALA *et al.*, 2006 ; BOCHU, 2006) dans le but de proposer des outils de diagnostic suffisamment simples pour être applicables à un grand nombre d'exploitations. **Ces différentes démarches nécessiteront probablement plusieurs années de travail avant de déboucher sur des outils complets et facilement utilisables, qui soient capables de refléter de manière fiable les améliorations introduites par les exploitants.**

	DairyWise (SCHILS <i>et al.</i> , 2006a)	FarmGHG (OLESEN <i>et al.</i> , 2006)	SIMS _{DAIRY} (DEL PRADO <i>et al.</i> , 2006)	FarmSim (SALETES <i>et al.</i> , 2004)
Type de modèle	Empirique	Empirique	Semi-mécaniste	Semi-mécaniste
CH ₄ et N ₂ O	X	X	X	X
CO ₂	X	X		X
NH ₃ et NO ₃	X	X	X	X
P	X		X	

TABLEAU 1 : Caractéristiques générales de modèles de fermes publiés incluant un bilan de GES (d'après SCHILS *et al.*, 2006b).

TABLE 1 : General characteristics of the farm models published that include the measurement of greenhouse-effect gases (after SCHILS *et al.*, 2006b).

2. Améliorations possibles des bilans d'énergie et de gaz à effet de serre

■ Contexte économique et réglementaire

L'agriculture peut apporter une triple contribution à la réduction des gaz à effet de serre : en réduisant directement ses émissions, en contribuant à substituer de l'énergie fossile par de la

biomasse et en séquestrant du CO₂ (LESEUR et LEGUET, 2006, cet ouvrage). Deux opportunités se présentent actuellement :

- d'une part, l'augmentation rapide du prix des énergies fossiles incite les exploitants à économiser l'énergie, voire à en produire à la ferme, ce qui devrait entraîner une réduction des émissions de GES (JAYET, 2006) ;

- d'autre part, la réforme de la PAC et le découplage des aides devraient également entraîner une forte diminution des émissions de GES du secteur agricole Européen (JAYET, 2006).

Par ailleurs, de nombreux objectifs de réduction ont été proposés par les pouvoirs publics dans le cadre de plusieurs lois et plans d'action (protocole de Kyoto, Plan Climat, loi POPE, loi d'Orientation Agricole... ; LESEUR et LEGUET, 2006). Pourtant, jusqu'à présent c'est plutôt par une réduction du cheptel (GABORIT et VINCENT, 2006) et des engrais azotés (CHARROIN *et al.*, 2006) que s'est opérée la réduction des émissions de GES par l'élevage en France et en Europe. En effet, **en dehors des effets d'opportunité liés au prix de l'énergie et à la réforme de la PAC, il n'existe en France quasiment pas d'incitation ni de rémunération financière pour réduire les émissions de GES.**

La valorisation des réductions d'émissions est pourtant déjà possible grâce à des marchés du carbone (LESEUR et LEGUET, 2006), tant au niveau international *via* le protocole de Kyoto qu'au niveau européen par le marché des quotas d'émissions de CO₂, qui concerne principalement les industries du secteur de l'énergie. Les **“projets domestiques”** permettraient d'intégrer l'agriculture aux marchés d'émission de CO₂ (LESEUR et LEGUET, 2006). Toutefois, il faudrait alors mettre en place des projets quantifiables, ayant des **effets additionnels de réduction** pouvant être certifiés grâce à des documents officiels, comme les photos aériennes PAC pour l'occupation des surfaces et la comptabilité pour les intrants (HACALA *et al.*, 2006). Cette option s'accompagnerait de coûts de vérification, qui n'ont probablement pas encore été bien évalués, et **pourrait entraîner des biais si elle ne portait que sur quelques postes des émissions de GES, sans considérer le bilan de la ferme entière.**

■ Economies et substitutions d'énergie

Cette thématique, qui a une forte actualité, recouvre deux problèmes indissociables : les économies d'énergie et les valorisations énergétiques de la biomasse. Vouloir produire de l'énergie à la ferme sans l'économiser n'aurait en effet guère de sens.

Des approches simples et peu coûteuses (réglage des moteurs, “co-tracturage” : COUVREUR, 2006) sont déjà disponibles pour limiter la consommation de fuel, qui est l'indicateur énergétique le plus lisible pour les exploitants. La réduction des intrants représente un important gisement d'économie d'énergie fossile. Selon un exemple écossais, une baisse des engrais azotés de 25% correspondrait à une réduction de 20% de la consommation d'énergie des exploitations (CHARROIN *et al.*, 2006). De manière générale, les systèmes herbagers (CHARROIN *et al.*, 2006), ou encore les systèmes économes (BOCHU, 2006) ou durables (DEBORDE, 2006, cet ouvrage) consomment moins

d'énergie par hectare et fréquemment - mais sans doute pas systématiquement - par unité de produit (litre de lait, ou kg de viande). Les achats d'aliments concentrés (comme les tourteaux de soja) pèsent également lourd dans le bilan énergétique des exploitations laitières (CHARROIN *et al.*, 2006).

Ces différents résultats de l'approche énergétique montrent qu'**il existe une gamme étendue de moyens d'action, allant de simples ajustements des pratiques à des changements stratégiques des systèmes de production**. Ces derniers ont une forte incidence sur le résultat financier et le temps de travail de l'exploitation, comme le montre une étude de cas (DEBORDE, 2006), qui peut toutefois difficilement être généralisée compte tenu des spécificités de chaque exploitation.

De manière complémentaire, depuis quelques années, on assiste à une nouvelle phase de développement de la valorisation énergétique des productions végétales (huiles) et des effluents d'élevage (méthanisation). La **production d'huile utilisée comme biocarburant** attire les éleveurs de bovins, car elle permet de disposer de tourteaux valorisables par leurs animaux et d'obtenir ainsi une meilleure autonomie alimentaire (apport de protéines) (BRUNSCHWIG et LAMY, 2006, cet ouvrage). Toutefois, des études complémentaires concernant le bilan énergétique et GES des cultures d'oléagineux, la valeur zootechnique des tourteaux et l'adaptation des moteurs et de la qualité de l'huile sont encore nécessaires.

La **méthanisation agricole des effluents d'élevage** a été relancée par des tarifs incitatifs d'achat de l'électricité, qui sont cependant encore bas en France par rapport à d'autres pays européens (THÉOBALD et SCHUBETZER, 2006). Cette technique, qui est également attractive pour la réduction des émissions de méthane, génère à la fois de la chaleur (qui doit être utilisée localement) et de l'électricité, mais le potentiel méthanogène des fumiers et lisiers est nettement plus faible que celui de l'ensilage de maïs ou de résidus de culture comme les pailles.

A plus long terme, un autre procédé, encore au stade pilote, concerne la **production de bioéthanol à partir de ligno-cellulose tirée de plantes fourragères** à haute productivité en biomasse comme certaines graminées en C₄ (sorgho, *Miscanthus sp.*) (POURQUIÉ, 2006). Les cultures fourragères seraient alors en concurrence avec les céréales (le procédé de transformation de l'amidon en éthanol étant déjà largement développé) et avec d'autres sources de ligno-cellulose, comme les taillis à courte rotation.

Un champ important de réflexion, qui n'est sans doute pas encore bien couvert, **concerne les synergies à trouver entre économies et substitutions d'énergie**. Par exemple, comment concevoir des assolements qui favorisent à la fois des économies d'azote (*via* les légumineuses) et la production d'huile (pour les biocarburants et les tourteaux) ? Comment utiliser la chaleur produite localement par la méthanisation, pour économiser le fuel ou l'électricité ? Ce champ de réflexion s'élargit encore lorsque l'on passe de l'énergie aux gaz à effet de serre.

■ Améliorations possibles du bilan de gaz à effet de serre

Le phénomène de substitution rencontré dans le domaine de l'énergie peut également s'appliquer aux gaz à effet de serre. On peut en donner quelques exemples :

- Un stockage accru de carbone dans le sol peut être obtenu en augmentant la fertilisation azotée ou en utilisant le semis direct, mais ces pratiques s'accompagnent généralement d'émissions plus élevées de N₂O (INRA, 2002).

- Une réduction des émissions de méthane, grâce à une alimentation riche en concentré, donc pauvre en parois végétales (MARTIN *et al.*, 2006, cet ouvrage), s'accompagne généralement d'une augmentation des émissions de GES en amont (pour la production et le transport des aliments concentrés) et en aval (du fait de l'augmentation des rejets azotés des animaux ; CHARROIN *et al.*, 2006).

Ces exemples montrent qu'il ne suffit pas de réduire un poste d'émission pour améliorer le bilan de GES et qu'il est **indispensable de se placer à l'échelle de l'exploitation dans son ensemble pour raisonner les améliorations de ce bilan** en incluant les échanges nets des trois principaux gaz incriminés (CO₂, CH₄ et N₂O). Dès lors, la principale difficulté tient au raisonnement d'améliorations cohérentes du système d'exploitation, compatibles avec les autres dimensions environnementales et avec les deux autres piliers du développement durable (économique et social).

Plusieurs études indiquent que **l'excédent d'azote au portail de la ferme** (calculé comme le bilan des importations et des exportations) **constitue le meilleur indicateur du bilan de GES** (SALETES *et al.*, 2004 ; SCHILS *et al.*, 2006a). Pour les Pays-Bas, SCHILS *et al.* (2006a) montrent qu'une gestion plus économe de l'azote à l'échelle de la ferme permet de réduire les émissions de GES de 29 kg équivalents CO₂ par kg d'azote économisé. Les politiques visant à limiter les pollutions azotées auraient donc des retombées utiles au plan des gaz à effet de serre (SCHILS *et al.*, 2006b).

Une **approche comparative** (HACALA *et al.*, 2006) **fondée sur la typologie des systèmes d'exploitation** permet également de proposer des transformations réalistes, puisque fondées sur des systèmes dont on connaît bien l'ensemble des performances techniques et économiques.

Les **innovations sectorielles** concernant l'utilisation des légumineuses dans les assolements (BESNARD *et al.*, 2006, cet ouvrage), l'introduction de rations riches en acide linoléique afin de réduire les émissions de méthane (MARTIN *et al.*, 2006), ou encore la méthanisation (THÉOBALD et SCHUBETZER, 2006) et la production de biocarburants (BRUNSCHWIG et LAMY, 2006) méritent d'être analysées à l'aune de cette vision systémique du bilan de gaz à effet de serre de l'exploitation, afin de comprendre l'incidence qu'elles ont sur l'ensemble des flux.

Conclusion

Les débats sur l'effet de serre seront probablement de plus en plus importants dans les décennies à venir et se conjugueront à la raréfaction progressive des énergies fossiles. La **mise au point de systèmes d'exploitation plus autonomes et plus économes** n'est certes pas une idée nouvelle, mais elle se trouve renforcée par cette problématique puisqu'il faut maintenant conjuguer économies d'énergie et lutte contre l'effet de serre. Le découplage des aides introduit par la réforme de la PAC et le renchérissement des prix de l'énergie favorise déjà des systèmes plus économes en intrants, en azote et vraisemblablement moins émetteurs de GES. Des actions incitatives complémentaires seraient également utiles, mais elles passent par la définition de systèmes de production adaptés et par des méthodes améliorées de comptabilité des bilans d'énergie et de gaz à effet de serre des exploitations.

A plus long terme, l'effort de lutte contre l'effet de serre devra **tenir compte d'un contexte climatique modifié**, puisque la production agricole sera très vraisemblablement affectée par les changements atmosphériques et climatiques (SEGUIN et SOUSSANA, 2006). Des effets sur la production fourragère et sa répartition saisonnière, sur la valeur alimentaire de l'herbe, sur l'utilisation d'intrants (azote, eau) et sur la dynamique de végétation sont hautement probables (SOUSSANA *et al.*, 2002).

Dans ce domaine, l'une des principales incertitudes concerne la **vulnérabilité des prairies aux épisodes de canicule estivale et de sécheresse** comme celui de l'année 2003, qui a entraîné une chute de 30% de la production fourragère. De tels événements climatiques, considérés aujourd'hui comme exceptionnels, pourraient d'ici à la fin du siècle se reproduire une année sur deux ou trois (SEGUIN et SOUSSANA, 2006). Ils auront probablement un impact négatif important sur les stocks de carbone des sols (BELLAMY *et al.*, 2005), ce qui contribuerait à la perte nette de carbone par les écosystèmes observée lors de la canicule 2003 (CIAIS *et al.*, 2005).

Il serait donc important d'engager une réflexion sur les adaptations des systèmes fourragers et des systèmes d'élevage nécessaires pour faire face au changement climatique (SOUSSANA et LEMAIRE, 2006), tout en conservant les stocks de carbone des sols et en luttant contre le changement climatique.

Intervention présentée aux Journées de l'A.F.P.F.,
"Prairies, élevage, consommation d'énergie et gaz à effet de serre",
les 27 et 28 mars 2006.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BELLAMY P.B., LOVELAND P.J., BRADLEY R.I., LARK R.M., KIRK G.J.D. (2005) : "Carbon losses from all soils across England and Wales 1978-2003", *Nature*, 437, 245-248.
- 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.

- BOCHU J.-L.(2006) : "Consommation et efficacité énergétique de différents systèmes de production agricoles avec la méthodologie PLANETE", *Fourrages*, 186, 165-178.
- BRUNSWIG P., LAMY J.-M. (2006) : "Production à la ferme d'huile végétale et de tourteaux : possibilités et conséquences", *Fourrages*, 187, 329-342.
- CHARROIN T., GALAN F., CAPITAIN M. (2006) : "Les consommations d'énergie dans les systèmes d'élevage bovin. Première contribution des Réseaux d'Elevage", *Fourrages*, 186, 179-192.
- CIAIS P *et al.* (2005) : "An unprecedented reduction in the primary productivity of Europe during 2003 caused by heat and drought", *Nature*, 437, 529-532.
- COUVREUR J.-P. (2006) : "Quelques leviers pour maîtriser la consommation d'énergie et optimiser la mécanisation de l'exploitation", *Fourrages*, 187, 301-310.
- DEBORDE I. (2006) : "Dans une exploitation normande, effets du passage à un système herbager sur la consommation d'énergie, les coûts et le travail", *Fourrages*, 187, 321-328.
- DEL PRADO A. *et al.* (2006) : "A modelling framework to identify new integrated dairy production systems", J. Lloveras *et al.* (editors), *EGF 21st Gen. Meet. : Sustainable Grassland Productivity*, Badajoz, 766-768.
- DOLLÉ J.-B., ROBIN P. (2006) : "Emissions de gaz à effet de serre en bâtiment d'élevage bovin", *Fourrages*, 186, 205-214.
- GABORIT G., VINCENT J.(2006) : "Gaz à effet de serre : définition et inventaire de la contribution de l'agriculture et des élevages français", *Fourrages*, 186, 155-164.
- HACALA S., LE GALL A., Réseaux d'Elevage (2006) : "Evaluation des émissions de gaz à effet de serre en élevage bovin et perspectives d'atténuation", *Fourrages*, 186, 215-228.
- INRA (2002) : *Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?*, éd. Arrouays D., Balescent J., Germon J.C., Jayet P.A., Soussana J.F. et Stengel P., INRA, 147 rue de l'Université, Paris, ISBN 2-7380-1054-7.
- IPCC (1996) : *Revised guidelines for national greenhouse gas inventories*. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Cambridge University Press.
- IPCC (2001) : *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Institute for Global Environmental Strategies, Tokyo, Japan.
- JAYET P.A. (2006) : "Impact des prix de l'énergie et de la régulation des émissions de GES sur les systèmes d'exploitation agricole en France", *Actes de Journées AFFF 27-28 Mars 2006*, AFFF, 159-174.
- LESEUR A., LEGUET B. (2006) : "Les marchés du carbone et le secteur agricole : quelles possibilités ?", *Fourrages*, 187, 343-356.
- MARTIN C., MORGAVI D., DOREAU M., JOUANY J.P.(2006) : "Comment réduire la production de méthane chez les ruminants ?", *Fourrages*, 187, 283-300.
- OLESEN J.E. *et al.* (2006) : "Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112, 207-220.
- POURQUIÉ J. (2006) : "Comparaison des sources d'amidon, saccharose et lignocellulose", *Chimie Verte* (P. Colonna éd.), 395-417, Lavoisier, Paris.
- RIEDACKER A., MOUSSET J., BODINEAU L., RACAPÉ J., THEOBALD O. (2006) : "Energie et effet de serre : quelles évolutions pour l'agriculture ?", *Actes de Journées AFFF 27-28 Mars 2006*, AFFF, 21-34.
- SALETES S. *et al.* (2004) : "Greenhouse Gas Balance of cattle breeding farms and assessment of mitigation options", M. Kaltschmitt et A. Weiske (éd.), *Greenhouse Gas Emissions from Agriculture. Mitigation Options and Strategies*, Institute for Energy and Environment, Leipzig, 203-208.
- SCHILS R.L.M. *et al.* (2006a) : "Effect of improved nitrogen management on greenhouse gas emissions from intensive dairy systems in the Netherlands", *Global Change Biology*, 12, 382-391.

- SCHILS R.L.M., OLESEN J.E., DEL PRADO A., SOUSSANA J.-F. (2006b) : "A FARM LEVEL APPROACH FOR MITIGATING GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM RUMINANT LIVESTOCK SYSTEMS", *RAMIRAN WORKSHOP*, WAGENINGEN.
- Seguin B., Soussana J.-F. (2006) : "LE RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE (PRÉDICTIONS FUTURES ET OBSERVATIONS RÉCENTES) EN LIEN AVEC LES ÉMISSIONS DE GES", *FOURRAGES*, 186, 139-154.
- Soussana J.F., Lemaire G. (2006) : "IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA PRAIRIE ET ADAPTATIONS POSSIBLES", *RENDEZ VOUS TECHNIQUES*, ONF (SOUS PRESSE).
- Soussana J.F., Teyssonneyre F., Picon-Cochard C., Casella E., Besle J.M., Lherm M., Loiseau P. (2002) : "Impacts des changements climatiques et atmosphériques sur la prairie et sa production", *Fourrages*, 169, 3-24.
- SOUSSANA J.F., LOISEAU P., VUICHARD N., CESCHIA E., BALESDENT J., CHEVALLIER T., ARROUAYS D. (2004) : "CARBON CYCLING AND SEQUESTRATION OPPORTUNITIES IN TEMPERATE GRASSLANDS", *SOIL USE AND MANAGEMENT*, 20, 219-230.
- Soussana J.-F., Laville P., Hénault C., Allard V., Fiorelli J.-L., Cellier P. (2006) : "BILANS DE GAZ À EFFET DE SERRE EN PRAIRIES ET CULTURES : MÉTHODOLOGIES ET RÉSULTATS", *FOURRAGES*, 186, 193-204.
- Théobald O., SCHUBETZER C. (2006) : "La méthanisation en agriculture : technologies utilisées, intérêts économiques et environnementaux", *Actes de Journées AFPP 27-28 Mars 2006*, AFPP, 133-138.
- VUICHARD N., CIAIS P., VIOVY N., SOUSSANA J.F. (2006) : "Simulating the Greenhouse Gas Budget of European Grasslands within a Process Driven Approach : Spatial and temporal patterns of radiative forcing", *Global Biogeochemical Cycles* (in press).

SUMMARY

Consumption of energy and of greenhouse-effect gases : What are the prospects at the level of an animal farm ?

The new problems arising from the changes at the world scale surely create some risks for the animal farming systems, but are also likely to be the source of opportunities that will have to be made good use of. What are the assets and liabilities of the pasture and livestock farming system under these new circumstances ?

The synthesis of the papers presented at the AFPP meeting in spring 2006 underlines the necessity of a refined analysis of flows (energy, nitrogen, carbon, greenhouse-effect gases flows) at the scale of the whole farm for useful diagnoses and projects of improvements (reduced energy consumption or greenhouse-effect gas production, creation of bio-energy, storage of carbon, etc.). Further research will be necessary for the definition of simple and reliable tools to find diagnoses and judge results, the more so as the farming systems will have to be adapted to new environments (regarding energy, the climate, the society, etc.).