

Sources et puits de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O) en prairie pâturée et stratégies de réduction Projet GES prairies

J-F Soussana¹, V Allard¹, R Falcimagne¹, E Ceschia¹, P Berbigier², C Hénault³, P Cellier⁴, P Laville⁴, C Martin⁵, C Pinares-Patino⁵, P Dhour⁶, J-L Fiorelli⁷, N Vuichard⁸, N Viovy⁸ et P Ciais⁸

1. INRA, Clermont-Ferrand, UR 0874, équipe Fonctionnement et Gestion de l'Ecosystème Prairial
2. INRA Bordeaux – UMR EPHYSE
3. INRA Dijon – Microbiologie des Sols (UR 29-111)
4. INRA Grignon – Environnement et Grandes Cultures (UR 11-1091)
5. INRA Theix – Unité de Recherches sur les Herbivores (URH - UR 23-1053)
6. INRA Domaine des Mont Dore (UR 23-1053)
7. INRA Mirecourt – Systèmes Agraires et Développement (UR 12-55)
8. UMR CEA-CNRS Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE)

Introduction

Dans le cadre du protocole de Kyoto sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES), divers écosystèmes dont les prairies peuvent jouer un rôle important pour la séquestration du carbone dans les sols. En effet, ce type d'écosystème utilisé par l'élevage couvre plus de 20 % du territoire métropolitain français. Dans le cadre des politiques environnementales post-Kyoto, une stratégie de conservation des prairies françaises et d'adaptation de leur gestion pourrait permettre de favoriser le stockage de carbone dans les sols, mais elle pourrait également s'accompagner d'émissions accrues de CO₂ et CH₄ (par les ruminants au pâturage) et de N₂O (par les sols).

L'expertise collective réalisée par l'INRA à la demande du MEDD sur le stockage de carbone dans les sols agricoles français a permis de montrer que la conversion de cultures en prairies s'accompagnait d'un stockage de carbone moyen dans les sols de l'ordre de 0,5 tC ha⁻¹ an⁻¹ durant 20 ans. Toutefois, comme le soulignait cette expertise, de nombreuses incertitudes persistent en ce qui concerne le bilan de gaz à effet de serre des surfaces prairiales et des systèmes d'élevage. Trois gaz à effet de serre interviennent dans les échanges avec l'atmosphère dans une prairie pâturée : CO₂ (échangé avec les animaux, le sol et la végétation), N₂O (émis par le sol), CH₄ (émis par les ruminants au pâturage). L'amplitude de ces flux dépend de nombreux facteurs, qu'ils soient liés au climat, au sol, à la végétation, à la gestion, ou à l'environnement global.

Le projet GES-Prairies avait deux objectifs : 1° Réduire les incertitudes concernant les flux de CO₂, CH₄ et N₂O des prairies françaises et évaluer le bilan de gaz à effet de serre de ces surfaces. 2° Analyser les émissions nettes de fermes d'élevage bovin, puis construire et évaluer des scénarios de gestion permettant

de réduire ces émissions nettes. Ce projet comprend trois volets aux échelles de la parcelle, de la ferme et de la région.

Ce projet a ensuite été intégré dans le projet européen FP5 'GreenGrass' (EC FP5 EVK2-CT2001-0105) coordonné par l'INRA (J-F Soussana). Nous résumons ici les principaux résultats obtenus.

Volet parcelle

A l'échelle de la parcelle, les flux de CO₂ ont été mesurés en continu par la méthode des fluctuations turbulentes, les émissions de N₂O par des chambres au sol et par des campagnes de mesures par diode laser, le CH₄ érucé par les bovins au pâturage grâce à un traceur SF₆. Ces mesures ont été réalisées durant au moins deux ans en 9 sites européens, dont le site de Laqueuille (UE des Mont-Dore). Le bilan de gaz à effet de serre (GES) a été calculé en considérant pour le CH₄ et le N₂O un pouvoir de réchauffement global à l'horizon de 100 ans (IPCC, 1996). A Laqueuille (63, 1000 m alt.), les mesures des flux de CO₂, CH₄ et N₂O ont été réalisées durant trois ans sur une prairie permanente préalablement gérée de manière intensive par la fauche et le pâturage. Depuis Avril 2002, cette prairie a été pâturée par des bovins en comparant deux traitements contrastés : pâturage intensif avec fertilisation azotée (1,0 Unité Gros Bétail UGB ha⁻¹ et 170 kg N ha⁻¹ an⁻¹) et pâturage extensif (0,5 UGB ha⁻¹) sans fertilisation.

Le bilan des trois premières années de mesures montre que les prairies pâturées représentent un puits net de carbone (NEE de -0,99 et -0,75 t C ha⁻¹ an⁻¹ dans les traitements intensif et extensif, respectivement). L'extensification (réduction du chargement animal et arrêt de la fertilisation azotée) a permis de stocker plus de carbone dans la prairie lors de la première année suivant la mise en place des traitements (NEE de -0,50 et -1,12 t C ha⁻¹ an⁻¹ dans les traitements intensif et extensif, respectivement) mais cet effet s'est inversé par la suite avec une NEE de -1,55 et -0,64 t C ha⁻¹ an⁻¹ dans les traitements intensif et extensif, respectivement, lors de la troisième année de mesure. Ces tendances ont également été simulées par le modèle PASIM, qui indique une forte activité de puits de carbone durant la première année après extensification par réduction du chargement animal mais aussi que le stockage de carbone obtenu dans le une prairie gérée de manière extensive tend à décroître dans la durée aucune fertilisation azotée n'est apporté. L'extensification n'a pas entraîné d'augmentation significative par kilogramme de poids vif des émissions de méthane dues à la fermentation entérique des ruminants. Une faible activité d'oxydation de méthane par les sols a été mesurée. Les émissions de N₂O ont présenté une forte variabilité spatiale (distribution log-normale) et temporelle. Les mesures indiquent des flux moyens faibles, correspondant à un facteur d'émission du N₂O (selon la méthodologie IPCC) de 0,50% dans le traitement fertilisé. En moyenne sur trois ans de mesures, les deux traitements constituent un puits net de GES - 0,1 et -0,31 t équivalent C-CO₂ ha⁻¹ an⁻¹ dans les traitements intensifs et extensifs, respectivement).

En moyenne des 9 sites Européens, les échanges nets avec l'atmosphère (NEE) montrent que les prairies étudiées étaient des puits de CO₂, d'une intensité (-2,5 tC-CO₂ ha⁻¹ an⁻¹) comparable à celle de forêts tempérées.

- Les exportations de C organique (récoltes) étaient plus fortes que les apports (fumiers), le stockage net de carbone dans la prairie (NBP) était donc réduit de 63% par rapport au puits atmosphérique (0,9 tC-CO₂ ha⁻¹ an⁻¹).
- Les émissions de N₂O et de CH₄ (dans les sites pâturés) représentaient, respectivement, 6 et 20 % de la NEE.
- Au total, le bilan de GES attribué aux prairies correspond à un puits modéré (-0,4 tC-CO₂ ha⁻¹ an⁻¹), avec une forte variabilité entre sites et entre années.

Volet ferme

Un modèle (FARMSIM, couplé à PASIM) permettant de simuler le bilan de GES d'une ferme d'élevage a été mis au point et a été testé sur une ferme Lorraine d'élevage bovin mixte (lait et viande, chargement annuel moyen de 1,3 UGB ha⁻¹) de 100 ha de SAU (dont 76 ha de prairies et 21 ha de cultures annuelles). Les résultats indiquent une émission nette annuelle de 175 t équivalent C-CO₂ pour cette ferme. Le bilan annuel de GES s'élève à 1,34 t équivalent C-CO₂ par UGB, ou encore à 0,54 kg C-CO₂ par kg de lait produit. Le stockage de carbone par les prairies (simulé par le modèle PASIM) constitue le seul puits de carbone de l'exploitation. Sans ce puits de 56 t équivalent C-CO₂, le bilan de GES de la ferme simulée serait alourdi de près de 30 %. Les émissions directes du bétail (méthane érucé et CO₂ respiré) constitueraient le poste le plus lourd des émissions de la ferme (142 t équivalent C-CO₂), le méthane représentant un peu plus de la moitié de ce total. Plus de la moitié des émissions de N₂O sur cette ferme seraient liées au stockage des déjections animales produites en stabulation. Malgré leur faible superficie, les 21 ha de cultures annuelles émettraient presque autant de N₂O que les prairies. Plusieurs scénarios de réduction du bilan de GES ont été étudiés pour cette ferme.

Le bilan de 7 fermes d'élevage bovin en Europe indique, en moyenne, une source de GES pour le bilan au portail de la ferme des émissions directes. Cette source est plus forte (1,3 tC-CO₂ par hectare) quand on considère les émissions indirectes liées aux intrants (engrais, fuel, aliments concentrés) consommés par la ferme.

Volet régional

Le modèle PASIM a été utilisé pour simuler les prairies européennes avec une résolution spatiale de 10' (environ 20*20 kms). Pour chaque maille, l'analyse de sensibilité du modèle a permis de calculer un apport d'azote qui correspond à 30 % de la fertilisation qui maximiserait la croissance annuelle de la prairie. Les apports calculés varient en France de 150 à 300 kg N ha⁻¹ an⁻¹, ce qui correspond assez bien aux pratiques agricoles sur les prés de fauche.

Des apports moindres sont simulés en pâture (le pâturage s'accompagnant d'un recyclage élevé d'azote) et dans le mode mixte où l'on combine sur un pixel des prairies fauchées et pâturées, au prorata des besoins alimentaires hivernaux et estivaux des troupeaux. La productivité végétale varie pour la France entre 4 et 6 t C ha⁻¹ an⁻¹, soit de 10 à 15 tMS ha⁻¹ an⁻¹. Les simulations réalisées sur le mode mixte fauche/pâture montrent que près de la moitié de la superficie en prairie est en moyenne consacrée à la fauche.

Les simulations indiquent des coefficients d'émission de N₂O assez stables pour les différentes mailles en Europe, avec des valeurs qui sont de l'ordre de 1-2 % en fauche (apport d'azote minéral) et de 3-4 % en pâture (apport d'azote organique à partir des déjections animales). En régime de fauche, les simulations prédisent un stockage de carbone annuel important, dont l'amplitude varie de 0,5 à 6 tC ha⁻¹ an⁻¹. Toutefois, une partie importante de ce stockage intervient dans le fourrage récolté (parties aériennes fauchées). Le stockage de carbone des prairies pâturées (0,3 à 2 tC ha⁻¹ an⁻¹) est donc plus faible que celui des prairies fauchées.

Les simulations indiquent que les prairies fauchées constituent un important puits net pour les GES étudiés, l'amplitude de ce puits varie en France de 2,5 à 6 t équivalent C ha⁻¹ an⁻¹. En revanche, les prairies pâturées à leur chargement animal potentiel constitueraient une source nette de GES, avec des flux variant en France de 0,5 à 2 t équivalent C ha⁻¹ an⁻¹. Les simulations associant prairies fauchées et pâturées, au prorata des besoins créés par l'alimentation hivernale des troupeaux, indiquent pour la France un puits nets de GES avec des flux annuels de 2 à 3 t équivalent C ha⁻¹ an⁻¹, qui correspondent toutefois à un stockage de carbone dans un pool labile (les fourrages récoltés).

Conclusions

Le projet GES-Prairies a permis de réduire les incertitudes sur le bilan de gaz à effet de serre des prairies et des élevages bovins français. Ce projet a également facilité le lancement d'un projet européen FP5 qui a étendu nos connaissances à l'échelle du continent. Actuellement, les recherches se poursuivent dans le cadre de deux projets FP6 (CarboEurope IP et NitroEurope) dans lesquels la composante prairie est significative.