

Programme Gestion et Impacts du Changement climatiques GICC

APR 2001

6/01 - Sources et puits de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O) en prairie pâturée et stratégies de réduction

Résumé du rapport final

Coordinateur : Jean-François Soussana – Directeur de recherche INRA

Le projet GES-Prairies a 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.

Volet parcelle

Des mesures des flux de CO₂, CH₄ et N₂O ont été réalisées durant deux ans sur une prairie permanente préalablement gérée de manière intensive par la fauche et le pâturage en moyenne montagne (Laqueuille, 63). 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 de la première année de mesures montre qu'une extensification (réduction du chargement animal et arrêt de la fertilisation azotée) permet de stocker plus de carbone dans la prairie (NEE de - 0,38 et -1,40 t CO₂ ha⁻¹ an⁻¹ dans les traitements intensifs et extensifs, respectivement). La respiration des bovins a un poids important dans ce bilan (émission de 1,0 et 1,9 t CO₂ ha⁻¹ an⁻¹). 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. Au bout d'un an de mesures, le traitement intensif constitue une source nette de GES (+0,64 t équivalent C-CO₂ ha⁻¹ an⁻¹), alors que le traitement extensif a une activité nette de puits (-0,92 t équivalent C-CO₂ ha⁻¹ an⁻¹), du fait de moindres émissions de N₂O et de CH₄ et d'une absorption accrue de CO₂. Ces tendances ont également été simulées par le modèle PASIM, qui indique une activité de puits de GES durant la première année après

extensification par réduction du chargement animal. L'évolution à plus long terme du bilan de GES n'est toutefois pas connue, même si le modèle PASIM indique que le stockage de carbone obtenu dans le traitement extensif serait difficile à maintenir dans la durée sans apport d'engrais azoté.

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 CCO₂ 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 sont en cours d'étude pour cette ferme. Le scénario le plus prometteur consisterait à supprimer l'atelier de production de viande, à remplacer la culture de maïs par un protéagineux, à réduire de moitié les apports d'azote sur les prairies (en comptant sur une fixation biologique accrue d'azote par des légumineuses) et à augmenter jusqu'à 85 % la part de l'herbe dans l'alimentation hivernale du troupeau. Les données concernant deux autres fermes de l'Ouest de la France devraient être prochainement disponibles et seront également analysées.

Volet régional

Le modèle PASIM a été utilisé pour simuler les prairies européennes avec une résolution spatiale de 1' (environ 200*200 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/pâturage 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. Un réalisme accru serait également obtenu en tenant compte des spécificités des systèmes d'élevage. Les données des réseaux animés par l'Institut de l'Élevage sont en cours de mise en forme afin de pouvoir renseigner sur une base régionale les paramètres d'entrée liés à la gestion du modèle PASIM. A l'échelle européenne, une collaboration a été entamée afin de disposer de données analogues sur les principaux systèmes d'élevage en Europe. A terme, des simulations régionales des fermes d'élevage, de leur bilan de GES et de leurs résultats économiques pourraient être entreprises. On disposerait alors de bases solides pour raisonner des scénarios d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre de ce secteur agricole.⁶

The project "GES-Prairies" (Greenhouse Gases – Grasslands) had two main objectives:

1° To measure more accurately the fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O of French grasslands and determine the greenhouse gas (GHG) balance of these areas.

2° To calculate the net GHG emissions of cattle production farms and finally to propose and evaluate some management scenarios leading to a reduction of GHG emissions. This project deals with three different spatial scales: the field scale, the farm scale and finally, the regional scale.

Field scale

During two years, fluxes of CO₂, CH₄ and N₂O were measured in a mid-mountain permanent grassland, previously managed intensively by cutting and grazing (Laqueuille, Auvergne, France). Since April 2002, this grassland has been exclusively grazed by cattle and two contrasted management have been compared: Intensive grazing (1 LSU (livestock unit) ha⁻¹ y⁻¹ and 170 kg N ha⁻¹ y⁻¹) and extensive grazing (0.5 LSU ha⁻¹ y⁻¹, no N fertilisation). Results from the first complete year of measurements show that the extensification process (reduction of the stocking rate and stopping N fertilisation) allows to stock more carbon in the ecosystem (Net Ecosystem Exchange (NEE) of -0.38 and -1.4 t C-CO₂ ha⁻¹ y⁻¹ in the intensive and extensive treatments respectively). The cattle respiration flux plays an important part in this budget (1.9 and 1 t C-CO₂ ha⁻¹ y⁻¹). Per kg of live weight, the extensification did not lead to a significant increase of CH₄ emissions produced by the enteric fermentation of the ruminants. A small CH₄ oxidation activity by grassland soils was also detected. N₂O emissions were characterised by a strong variability, as well spatial (log-normal distribution) as temporal. These measurements show that the average fluxes are small and correspond to an emission factor (calculated following the IPCC methodology) of 0.5% in the fertilised (intensive) treatment. After one year of measurements the intensive treatment was as a net source of GHG (all three gases cumulated) of +0.64 t C CO₂ equivalent ha⁻¹ y⁻¹, whereas the extensive treatment showed a net sink activity of -0.92 t C-CO₂ ha⁻¹ y⁻¹) due to lower emissions of both N₂O and CH₄ and a higher CO₂ absorption. These trends have also been simulated using the PASIM model, which predicts a GHG sink activity during the first year after reduction of the stocking rate. However, the long term evolution of the GHG balance is not known and the sink activity in the extensive treatment might be hardly maintained in the long run without any fertilisation.

Farm scale

We developed a model (FARMSIM, coupled to PASIM) able to simulate the GHG balance of a livestock farm. FARMSIM has been tested with data obtained from a mixed livestock farm in Lorraine (dairy and meat production, annual average stocking rate = 1.3 LU ha⁻¹) of 100 ha (including 76ha of grasslands and 21 of annual crops). The results indicate a net emission of 175 t equivalent C-CO₂ for this farm. If expressed per unit of product, it represents 1.34 t equivalent CCO₂ per LU and per year or 0.54 kg CO₂ per kg of milk and per year. The carbon accumulation in the grasslands is the only C sink of the farm. Without this

sink of 56 t equivalent C-CO₂, the net GHG emission of the system would be 30% higher. Livestock emissions (eructed CH₄ and respired CO₂) represent the major part of the total simulated farm emissions (142 t equivalent C-CO₂), with CH₄ representing sensibly more of 50% of this total. More than 50% of the N₂O emissions on this farm is linked to storage of manure produced in animal housing. In spite of their small participation to the total area of the farm, the 21 ha of crops are predicted to emit almost as much N₂O as the grasslands. Several scenarios of reduction of the GHG balance are presently investigated for this farm. The most promising of these scenarios would imply to stop the meat production unit, to replace the maize production by a proteaginous crop, to reduce the N fertilisation in the grasslands (expecting therefore a higher N input through N₂ fixation by legumes species) and to increase to 85% the proportion of herbage in the winter diet of the livestock. Data concerning two other farms situated in the western part of France should be available soon and will be analysed.

Regional scale

The PASIM model has been used to simulate the European grasslands with a spatial resolution of 1° (about 200 * 200 km). For each grid cell, a sensibility analysis allowed to determine the N application which correspond to 30% of the N application that would maximise the annual yield of the pasture. In France, these calculated values range between 150 and 300 kg N ha⁻¹ y⁻¹, which is relatively close to the management practices observed in the field for cut grasslands. Lower values have been calculated for grazed grassland (because grazing is accompanied by a strong recycling of N) and in the mixed system (simulated by combining on the same grid cell cut and grazed grassland in proportion to the need of dietary need in summer and winter). The simulated yield in France ranges between 4 and 6 t C ha⁻¹ y⁻¹, i.e. 10 to 15 t DM ha⁻¹ y⁻¹. Simulation runs on mixed systems (combining grazing and cutting) show that almost one half of the grassland area is, on average, used for cutting. These simulations predict N₂O emission factors that are relatively stable for the different grid cells across Europe with values ranging between 1 and 2% in cut systems and between 3 and 4% under grazing (with organic N application through faeces and urine deposition). Under cutting, the simulations predict an important annual C storage (varying between 0.5 to 6 t C ha⁻¹ y⁻¹). However one must consider that an important part of this storage occurs in the harvested forage. C storage in grazed grasslands (0.3 to 2 t C ha⁻¹ y⁻¹) is lower than in cut grasslands. The simulations indicate therefore that cut grassland could represent an important net GHG sink. In France, the amplitude of this sink could vary between 0.5 and 2 t C CO₂ equivalent ha⁻¹ y⁻¹. The simulations combining cut and grazed grassland, in proportion to the dietary needs, show that, in France, these systems would be a net GHG sink of 2 to 3 t C CO₂ equivalent ha⁻¹ y⁻¹. More realistic results would be obtained if the differences between farming systems were taken into account more specifically. Data from farmers networks managed by "l'Institut de l'Elevage" are under processing in order to provide the PASIM model with parameters obtained on a regional basis. At the European scale, collaborations aim to provide similar data for the main farming systems in Europe. In the long term, simulations of livestock farms at the regional scale could provide their GHG balance and economic results. This would then create solid basis to propose mitigation scenarios of GHG emissions for this part of the agricultural sector.