

Agriculture et changements climatiques : bilan de carbone d'une prairie pâturée en Région wallonne.

Elisabeth Jérôme¹, Yves Beckers², Bernard Bodson³, Pierre Dumortier¹, Joran Beekkerk van Ruth¹, Bernard Heinesch¹, Christine Moureaux³, Marc Aubinet¹

¹Unité de Physique des Biosystèmes, ²Unité de Zootechnie, ³Unité de Phytotechnie des Régions Tempérées.

Passage des Déportés, 2, B-5030 Gembloux.

Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech.

Le stockage de carbone par les prairies pour compenser les émissions de gaz à effet de serre de l'élevage herbivore

L'agriculture a pour vocation première de satisfaire les besoins alimentaires des citoyens. A l'heure actuelle, le secteur agricole et plus particulièrement les systèmes d'élevage sont perçus comme étant préjudiciables à l'environnement. Ces systèmes de production généreraient, tenant compte des émissions directes et indirectes, jusqu'à 20% des émissions anthropiques totales de gaz à effet de serre (GES) selon certaines estimations. Il apparaît dès à présent essentiel de développer des systèmes de production capables de répondre aux impératifs d'atténuation des émissions et d'adaptation aux changements climatiques. Dans cette optique, les prairies permanentes peuvent jouer un rôle important vu leur potentiel de séquestration de carbone (C) dans les sols. De récentes études ont en effet montré que la quantité moyenne de carbone stocké par les prairies européennes permet de compenser les émissions de GES liées à la fertilisation (protoxyde d'azote - N₂O) et aux animaux pâturant ces mêmes prairies (méthane - CH₄). Cela montre l'importance d'établir tout d'abord le bilan à l'échelle de la parcelle pour évaluer de manière pertinente la contribution des systèmes d'élevage aux émissions de GES tout en tenant compte des influences pédoclimatiques. Il convient dès lors de s'interroger sur le cas de la Région wallonne et du système de production bovins à viande qui y est développé : le stockage de carbone par les prairies gérées et pâturées en Région wallonne permet-il de compenser les émissions de GES ? Pour répondre à cette question, l'Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech (ULg, GxABT) a initié début 2010 un projet de recherches visant à étudier le bilan de carbone et de GES d'une exploitation agricole de référence de notre région. Ce projet s'inscrit dans le cadre d'une subvention de recherche de la Direction Générale Opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement (Service Public de Wallonie, DGARNE, Département du Développement – Direction de la Recherche). Cet article présente les premiers résultats des recherches et constitue la suite d'un premier article publié dans le numéro 7 de cette revue.

ELEVAGE ET GAZ A EFFET DE SERRE

Les systèmes d'élevage généreraient, tenant compte des émissions directes et indirectes, jusqu'à 20% des émissions anthropiques totales de gaz à effet de serre (GES). Spécifiquement, ils seraient responsables de 9% des émissions anthropiques de dioxyde de carbone (CO₂), 65% des émissions anthropiques de protoxyde d'azote (N₂O) et 37% des émissions anthropiques de méthane (CH₄).

Ces trois gaz ont un impact différent sur le réchauffement de l'atmosphère. Leur contribution relative s'exprime grâce à un facteur appelé pouvoir de réchauffement global (PRG). Ce facteur permet de comparer, sur une

Tableau 1 : Pouvoir de réchauffement global des gaz à effet de serre. Par ex. 1 kg de CH₄ émis dans l'atmosphère produit le même effet, sur 100 ans, que l'émission de 25 kg de CO₂.

Gaz à effet de serre	Pouvoir de réchauffement global
Dioxyde de carbone (CO ₂)	1 (convention)
Protoxyde d'azote (N ₂ O)	298
Méthane (CH ₄)	25

période de 100 ans, l'effet d'un kg de gaz donné sur le réchauffement de l'atmosphère, par rapport à celui d'un kg de CO₂. Comme les GES n'ont pas le même PRG, ils sont exprimés en équivalent CO₂, unité de mesure qui correspond au produit de la masse de chaque gaz et de son PRG.

Bilan de carbone de l'élevage herbivore en Région wallonne



Figure 1 : Plusieurs études menées en Europe montrent que, exprimé en équivalent CO₂, le stockage de carbone par les prairies permettrait de compenser les émissions de protoxyde d'azote liées à la fertilisation (N₂O) et la quantité de méthane (CH₄) émise par les animaux valorisant ces mêmes prairies. Qu'en est-il en Région wallonne où notre système bovins à viande diffère à plus d'un titre de ceux de nos voisins européens (photo : dispositif de mesure des flux de CO₂ installé sur le site expérimental de Dorinne, dans la région agricole du Condroz).

Un site de mesures unique en Région wallonne

L'exploitation agricole étudiée est celle de Monsieur Adrien Paquet à Dorinne (commune d'Yvoir, province de Namur). L'élevage se compose essentiellement de vaches allaitantes et des veaux non sevrés de l'année, de race Blanc Bleu Belge. Le système d'alimentation pour ces animaux se base principalement sur la prairie permanente durant la période estivale et les produits conservés de la

prairie durant la période hivernale. La parcelle d'essai est une prairie permanente de l'exploitation d'environ 4 hectares et gérée de manière intensive. Cette prairie fait l'objet, au cours du cycle de croissance de l'herbe, d'un pâturage par différents bovins (jeune bétail, vaches gestantes, vaches allaitant leur veau, etc.) et éventuellement d'une coupe destinée à constituer les réserves hivernales.

Quantification du bilan de carbone de la prairie

Les variations du stock de carbone de la prairie sont obtenues en réalisant le bilan des différents flux à l'échelle de la parcelle (Productivité nette du Biome, NBP, kg C ha an^{-1} voir Equation 1)¹. Cette approche nécessite de prendre en compte non seulement les flux de GES échangés entre l'écosystème et l'atmosphère (F_{CO_2} , F_{CH_4}) mais également les flux de C organique aux frontières de la parcelle (voir Figure 2) :

$$\text{NBP} = F_{\text{CO}_2} + F_{\text{CH}_4} + F_{\text{fertilisation}} + F_{\text{compléments}} + F_{\text{récolte}} + F_{\text{viande}} + F_{\text{lessivage}} \quad (1)$$

Où :

- F_{CO_2} est l'échange net de dioxyde de carbone, mesuré à l'aide d'une technique micro-météorologiques appelée covariance de turbulence.
- F_{CH_4} sont les émissions de méthane par le bétail ruminant, déduites de l'estimation de l'ingestion d'herbe au pâturage.
- $F_{\text{fertilisation}}$, $F_{\text{compléments}}$, $F_{\text{récolte}}$ sont les flux de C organique respectivement importés par fertilisation ou sous forme de nourriture complémentaire pour le bétail (données fournies par l'exploitant), exportés lors de la fauche (rendement de la fauche déduit de la différence de hauteur d'herbe avant et après celle-ci).
- F_{viande} représente le C exporté sous forme de viande, déduit de l'estimation de l'ingestion d'herbe au pâturage.
- $F_{\text{lessivage}}$ représente le flux de C dissous dans les eaux et lessivé qui vaut, selon la littérature, $70 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$.

¹ Par convention, les flux d'importation (entrées) dans le système sont comptés négativement et les flux d'exportation (sorties) positivement.

FLUX DE CARBONE A L'ECHELLE D'UNE PRAIRIE

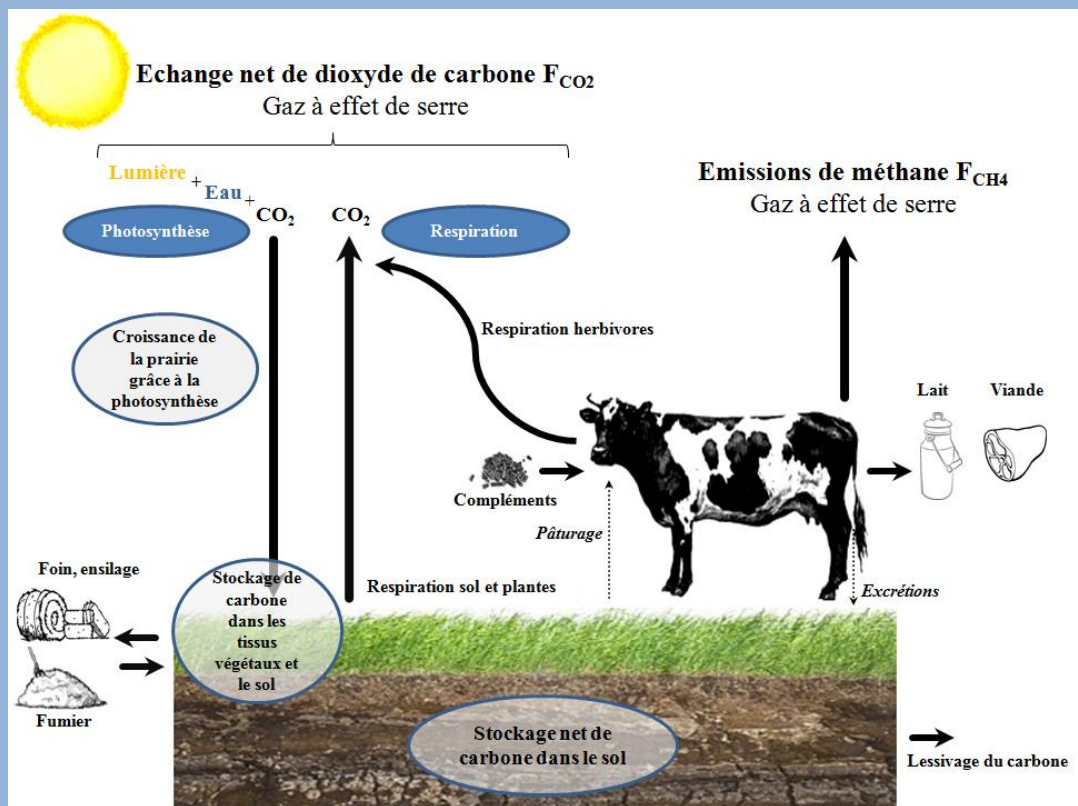
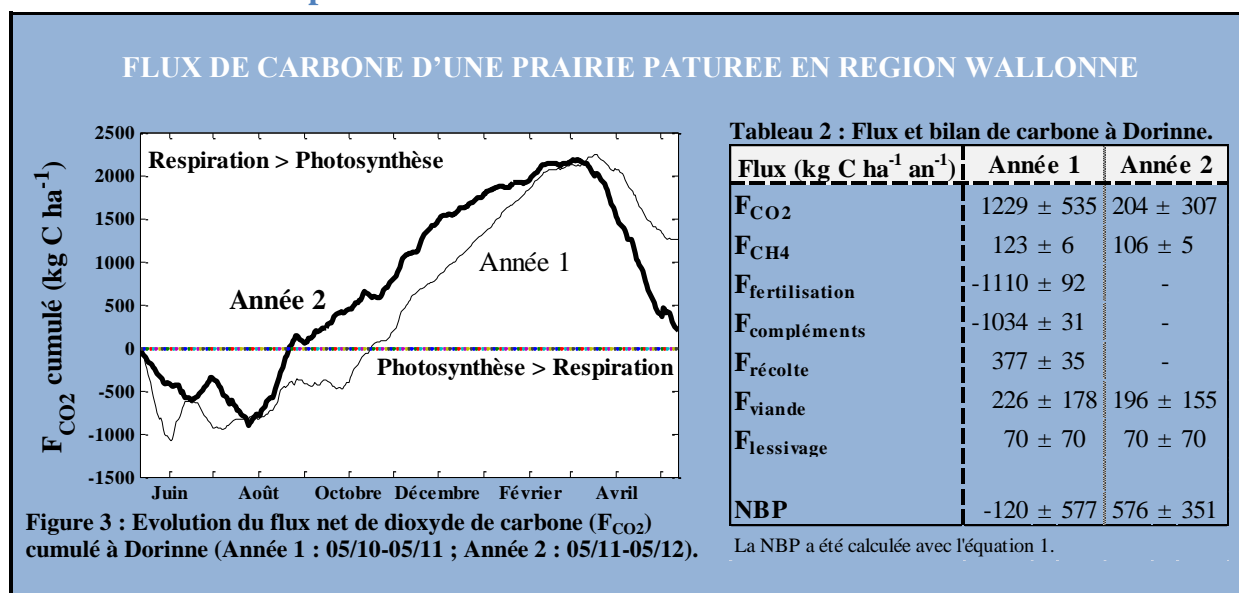


Figure 2 : Flux de carbone d'une prairie pâturée.

Les végétaux chlorophylliens d'une prairie absorbent du dioxyde de carbone (CO_2) par photosynthèse. La quantité de carbone (C) assimilée est la productivité primaire brute. Une partie de ce C fixé par les plantes va par ailleurs être réémise dans l'atmosphère sous forme de CO_2 , via la respiration des plantes et du sol, et via la respiration des animaux après consommation de l'herbe. La différence entre le flux de respiration et de photosynthèse est le flux net de CO_2 de l'écosystème (F_{CO_2}). En prairie, les interventions culturales induisent des exportations (fauche, production de lait et de viande), des importations (fertilisation organique, compléments alimentaires distribués au bétail) et des flux internes de carbone (pâturage et excréments). En effet, une partie du carbone assimilé lors de la photosynthèse peut être exportée sous forme de foin ou d'ensilage. A l'opposé, les apports de fumier, de lisier ou de nourriture complémentaire, lorsque nécessaire, constituent des apports de carbone. En pâturant, le bétail ingère une grande partie de la biomasse sèche au dessus du sol. Si cela s'avère nécessaire, de la nourriture complémentaire peut être distribuée au bétail. La plus grande partie du carbone organique ingéré par le bétail est digestible et est donc respirée peu de temps après l'ingestion. Seule une faible part du carbone ingéré est valorisée sous forme de lait ou de viande. Le carbone non digestible retourne au sol sous forme d'excréments, principalement des fèces. Une petite partie est également émise sous forme de méthane lors de la fermentation entérique. Enfin, une partie du carbone importé au sol peut être dissoute dans l'eau et lessivée. La différence entre les flux d'importation et d'exportation de carbone constitue le stockage net de carbone au niveau du sol. Les variations du stock de carbone d'un écosystème prairial peuvent s'obtenir en réalisant le bilan des différents flux à l'échelle de la parcelle. Selon les caractéristiques du sol (par ex. teneur en matière organique, teneurs en argile et en calcaire), son activité biologique et les interventions culturales (nature, fréquence, intensité), le carbone peut être stocké dans le sol, principalement sous forme organique, ou déstocké sous forme de CO_2 dans l'atmosphère. Le sol peut donc être un puits ou une source de carbone.

Résultats des deux premières années de mesures



Les résultats discutés ici couvrent deux années complètes de mesures (mai 2010 à mai 2012). Le graphique de la Figure 3 présente l'évolution du flux net de CO₂ cumulé. Ce flux, directement mesuré par le dispositif de covariance de turbulence (voir Figure 1), est la résultante de deux flux importants et opposés, à savoir la photosynthèse et la respiration. Sur ce graphique, une pente descendante signifie donc que la photosynthèse est supérieure à la respiration et qu'il y a accumulation de carbone dans l'écosystème. A l'opposé, une pente ascendante signifie que la respiration prend le dessus sur la photosynthèse et qu'il y a libération de carbone sous forme de CO₂ dans l'atmosphère.

Les périodes de croissance active de la prairie au printemps se caractérisent par une accumulation de CO₂ dans le système plus ou moins importante selon l'année, principalement sous forme de biomasse végétale : les flux nets sont largement dominés par la photosynthèse (pente descendante des deux courbes). La première année, la fauche du mois de juin a induit une diminution brutale de F_{CO2}. De plus, les conditions climatiques particulières du mois de juillet ont empêché l'assimilation de CO₂ par l'écosystème, ce qui n'a pas été le cas lors de la deuxième année. A partir du mois d'août, la baisse des températures et du rayonnement réduisent puis stoppent l'assimilation du couvert. Les flux nets sont dominés par la respiration des végétaux et du sol et ce, jusqu'en mars (pente ascendante). A partir de là, l'assimilation du couvert augmente et reprend le dessus sur la respiration : l'écosystème redevient un puits de CO₂. Il est remarquable de constater l'assimilation de CO₂ au début du printemps (mars-mai) est nettement plus importante la deuxième année que la première année (pente beaucoup plus forte). La prairie ayant été pâturée à ces périodes (chargement moyen semblable pour les deux années), cela peut s'expliquer par les conditions climatiques nettement plus favorables à la croissance la deuxième année en comparaison avec la sécheresse survenue durant le printemps de la première année. Au final, pour les deux années de mesures, le bilan F_{CO2} est positif, mettant en évidence un déstockage de l'ordre de 1200 kg C ha⁻¹ pour la première année et de 200 kg C ha⁻¹ pour la deuxième année (point final des courbes de la Figure 3, première ligne du Tableau 2).

L'estimation des autres termes du bilan de C permet finalement d'établir un bilan net (NBP) pour les deux années de mesures (voir Tableau 2). Considérant les incertitudes sur les estimations, ce bilan est globalement neutre sur deux ans et vaut en moyenne 228 ± 338 kg ha⁻¹ an⁻¹. La prairie étudiée est donc en moyenne neutre pour le stockage – déstockage du carbone pour les 2 années étudiées. Il est important de remarquer que ces résultats sont ceux d'un bilan de C et non d'un bilan de GES. Ils ne tiennent en effet pas compte des émissions de N₂O ni du fait qu'à quantités émises égales, le CH₄ a un impact différent du CO₂ sur l'effet de serre (voir encadré « ELEVAGE ET GAZ A EFFET DE SERRE »). La prise en compte de ce dernier effet se traduirait par la multiplication par un facteur 25

du terme F_{CH_4} du Tableau 2. On constate alors que les émissions de CH_4 des animaux pâturant la parcelle ne sont plus compensées par un stockage du carbone dans le sol. Ces résultats sont toutefois biaisés dans la mesure où l'année 2010 et le printemps 2011 ont été marqués par des périodes de sécheresse très particulières, limitant fortement la capacité photosynthétique de la prairie. Ils ne sont dès lors pas représentatifs d'une année climatique moyenne. Cela montre que l'établissement d'un bilan de carbone robuste nécessite des mesures sur plusieurs années afin de tester la répétabilité des résultats. Par ailleurs, ces constatations montrent tout l'intérêt de s'interroger sur la vulnérabilité des stocks de carbone actuel face aux changements climatiques. A ce sujet, de récentes études européennes ont montré que des vagues de chaleur et des conditions sévères de sécheresse entraînaient une diminution de la séquestration de carbone par les prairies, voire même une inversion des puits en sources. Enfin, les valeurs annuelles des différentes composantes du bilan montrent que ce dernier est fortement influencé par le mode de gestion (fertilisation, fauche, compléments alimentaires). De plus, les résultats des flux de CO_2 présentent une forte variabilité saisonnière liée à la gestion de la prairie (fauche) et à leur réponse aux sollicitations climatiques (été 2010/printemps 2011/printemps 2012). Finalement, il est important de préciser qu'au delà de leur capacité à stocker du carbone dans les sols, les prairies possèdent également de nombreux atouts environnementaux (lutte contre le ruissellement et l'érosion, effets sur la qualité de l'eau, etc.). Elles sont également le support d'une importante biodiversité. Il ne faut également pas oublier que les systèmes d'élevage basés sur les prairies, comme c'est le cas à Dorinne, fournissent l'alimentation nécessaire aux ruminants, seuls animaux capables de tirer parti de cette biomasse pour produire des protéines animales de grande valeur nutritionnelle pour l'homme.

Par la suite

L'objectif par la suite est de réaliser un bilan complet de GES basé sur des mesures directes à l'échelle de la parcelle. A cette fin, depuis juillet 2012, un système complet de mesure des flux de CH_4 par covariance de turbulence et un système de mesures automatiques des flux de N_2O par chambres fermées dynamiques ont été mis en place sur le terrain. Le système de mesure du méthane fonctionne en continu et l'analyse de l'évolution temporelle des flux et de leurs dépendances aux variables environnementales est en cours. Le CH_4 étant essentiellement émis suite à la fermentation anaérobie de l'herbe dans le rumen des animaux, les flux sont très dépendants de la présence ou non des ruminants dans la zone d'influence des mesures. Pour interpréter correctement les mesures, il est donc primordial de connaître la position exacte du bétail dans la prairie. Dans cette optique, un prototype de système GPS est actuellement mis au point par l'Unité de Physique des Biosystèmes de GxABT. Ces expérimentations doivent permettre d'analyser de façon précise la contribution des ruminants aux émissions de méthane de la parcelle.

Le système de mesure de flux de N_2O doit permettre d'obtenir un suivi fiable de la dynamique des flux de N_2O et de mieux comprendre leur réponse aux sollicitations climatiques et à la fertilisation. L'analyse des premiers résultats met en évidence des corrélations entre les flux de N_2O , la température et les fluctuations d'humidité du sol. Au cours de la prochaine saison de végétation, une campagne expérimentale sera développée afin d'affiner et quantifier ces résultats.

En mesurant à long terme les flux des trois principaux gaz à effet de serre à l'échelle de la parcelle, nous obtiendrons des données inédites en Région wallonne. Celles-ci seront donc des références en la matière et permettront d'objectiver la contribution de l'élevage allaitant en Région wallonne aux émissions de gaz à effet de serre. A long terme, des stratégies de réduction des émissions pourront être envisagées. Ces pistes d'atténuation devront aussi intégrer les paramètres environnementaux (l'eau, le sol, la biodiversité, etc.) et les enjeux économiques et sociaux de cette activité agricole pour contribuer de cette manière à la durabilité du système allaitant en Région wallonne.

Pour en savoir plus

Aubinet M., Vesala T., Papale D. (2012). Eddy covariance: a practical guide to measurements and data analysis. Springer verlag. 438 p.

FAO (2006). Livestock's long shadows: environmental issues and options. FAO, Rome.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007) Climate Change 2007; The Scientific Basis (Contribution of Working Group I to the third assessment report of the IPCC). Cambridge University Press, Cambridge.

Jérôme E., Beckers Y., Bodson B., Degard C., Moureaux C., Aubinet M. (2012). Stockage de carbone et gaz à effet de serre en prairie : synthèse bibliographique. Accepté dans BASE.

Schulze E.D., Luyssaert S., Ciais P., Freibauer A., Janssens I.A. (2009). Importance of methane and nitrous oxide for Europe's terrestrial greenhouse gas balance. Nature Geosciences 3(1), 65-65.

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 Management. 20, 219-230.

Soussana J.F., Allard V., Pilegaard K., Ambus P., Amman C., Campbell C., Ceschia E., Clifton-Brown J., Czobel S., Domingues R., Flechard C., Fuhrer J., Hensen A., Horvath L., Jones M., Kasper G., Martin C., Nagy Z., Neftel A., Raschi A., Baronti S., Rees R.M., Skiba U., Stefani P., Manca G., Sutton M., Tuba Z., Valentini R. (2007). Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, NO₂, CH₄) budget of nine European grassland sites. Agriculture Ecosystems and Environment. 121, 121-134.

Soussana J.F., Tallec T., Blanfort V. (2010). Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. Animal. 4(3), 334-350.

Vandaele D., Lebreton A., Faraco B. (2010). Agriculture et gaz à effet de serre: état des lieux et perspectives. Publication du Réseau Action Climat France et de la Fondation Nicolas Hulot, 72 pages.

