



Lecture d'actualité

Influences de l'élevage et de la production de viande de ruminants sur le climat

Sources des émissions, méthodes d'évaluation et compensation carbone

Mots-clés : Environnement, Réchauffement climatique, Carbone, Prairies, ACV

Auteur : Thomas Turini¹

¹ Centre d'Information des Viandes, 207 rue de Bercy, 75587 Paris cedex 12

* E-mail de l'auteur correspondant : t.turini@civ-viande.org

Le CIV-Viande, Sciences et Société vient de publier un Cahier intitulé « Influences de l'élevage et de la production de viande de ruminants sur le climat » Cet article est un résumé des principales conclusions de ce dossier.

Résumé :

L'élevage et la production de viande de ruminants exercent une influence sur le climat comme toute activité humaine. La phase de production agricole génère l'essentiel des émissions de gaz à effet de serre (GES) : l'élevage émet principalement du méthane, du protoxyde d'azote et un peu de dioxyde de carbone. La part de l'élevage dans ces émissions est respectivement de 25%, 24% et moins de 2% à l'échelle du monde ; 43%, 18% et moins de 2% en ce qui concerne l'Europe ; et 67%, 6% et moins de 3% en France. Afin d'évaluer la pression totale sur l'atmosphère, les émissions sont ramenées à l'unité de référence, le CO₂ équivalent (CO₂e). La contribution de l'élevage de ruminants est ainsi à hauteur de 5% des émissions mondiales, 5% des émissions européennes et 9% des émissions françaises selon le dernier inventaire national (méthane et protoxyde d'azote des postes bâtiment et stockage). En ce qui concerne la viande bovine, selon la méthode d'analyse de cycle de vie, les émissions générées dans le cadre de la production mondiale représentent 6% des GES émis sur la planète. A l'échelle de l'Europe, la production de viande bovine émet l'équivalent de 4 à 6% des émissions du Vieux continent. En ce qui concerne la production de viande ovine, ses émissions correspondent à moins de 1% à ces deux échelles. Cependant, le bilan de l'influence climatique doit aussi prendre en compte les absorptions, et pas uniquement les émissions. En maintenant plus de carbone dans les sols qu'elles n'en restituent par la respiration, les prairies contribuent au stockage de carbone, et de cet état de fait, représentent un véritable levier d'atténuation du réchauffement climatique, à intégrer dans le bilan final de l'empreinte carbone de la viande de ruminants.

Abstract: Influence of breeding and ruminant meat production on the climate

Livestock and ruminant meat production influence climate as does all human activity. Agricultural production generates the bulk of greenhouse gas (GHG) emissions: livestock emissions are mainly methane, subsidiary of nitrous oxide and a little carbon dioxide. The share of livestock in these emissions is respectively 25%, 24% and less than 2% across the world; 43%, 18% and less than 2% as regards Europe; and 67%, 6% and less than 3% in France. To assess and understand the total impact on climate change, emissions are reduced to the reference unit, the CO₂ equivalent (CO₂e). The contribution of ruminant livestock is thus up to 5% of global emissions, 5% of European emissions and 9% of French emissions (methane and nitrous oxide from building and storage). In the case of beef production, according to life cycle assessment, the total GHG is equivalent to 6% of global emissions and between 4 and 6% for Europe. Sheep meat production emits less than 1% at these two scales. However to understand the whole climatic influence, we have to take into account the GHG removals. By keeping more carbon in the soil than they release, grasslands contribute to carbon storage, and represent a substantial action for the mitigation of climate change. This has to be included in the final carbon footprint of meat from ruminants.

INTRODUCTION

Comme toute activité humaine, l'élevage de ruminants exerce une influence sur le climat à travers l'émission de gaz à effet de serre (GES) qui, en augmentant leurs concentrations atmosphériques, participent au changement climatique. Trois gaz à effet de serre sont émis dans le cadre des activités liées à l'élevage de ruminants, et plus largement en agriculture : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et le protoxyde

d'azote (N₂O). Réglementés par le Protocole de Kyoto (1997), ces gaz ont un potentiel de réchauffement global (PRG) respectif de 1, 25 et 298, évalué sur une durée de 100 ans (Citepa, 2015). En tant que principal gaz à effet de serre d'origine humaine, le dioxyde de carbone sert de référence au calcul de contribution au changement climatique, qui s'exprime par conséquent en équivalent CO₂ (CO₂e).

I. CO₂, CH₄ ET N₂O : SOURCES ANTHROPIQUES ET EMISSIONS EN ELEVAGE

I.1. Sources anthropiques de CO₂, CH₄ et N₂O

Le dioxyde de carbone découle principalement de la combustion d'énergie fossile ou de biomasse. En élevage, les émissions proviennent de la fabrication et du transport des intrants (engrais, aliments du bétail, semences, produits phytosanitaires), ainsi que la consommation d'énergie directe sur l'exploitation (fioul, électricité, gaz).

Dans le monde, le méthane provient principalement des fuites de combustibles fossiles, des fermentation anaérobies dans les sols inondés de milieux naturels (marais, tourbières, étangs) ou cultivés (rizières), des décharges ainsi que d'animaux comme les termites et les ruminants (domestiques et sauvages), des cultures sur brûlis et des fermentations provenant des déjections des animaux (Journet *et al.*, 2013). En élevage de ruminants, le méthane peut avoir deux origines : le méthane entérique qui se forme dans le rumen quand l'hydrogène libéré par des micro-organismes fermentaires est utilisé par d'autres micro-organismes, les *Archaea* méthanogènes, dans la réduction du dioxyde de carbone (Popova *et al.*, 2011) - un processus intestinal indispensable aux animaux herbivores, spécialisés dans la digestion de la cellulose des végétaux, pour la transformer en nutriment - et le méthane issu de la dégradation anaérobie de

la matière organique contenue dans les déjections animales. En proportion, la fermentation entérique compte pour deux tiers environ des émissions de méthane de l'élevage de ruminants.

D'une façon générale, le protoxyde d'azote résulte en grande partie de la transformation des produits azotés sur les terres agricoles : engrais, fumier, lisier, résidus de récolte. Le solde des émissions provient du trafic routier (particulièrement les pots catalytiques) et de quelques procédés industriels. Il existe deux voies de production de protoxyde d'azote liées à la mise en cultures des sols : directement après l'apport de matière azotée dans le sol ou lors de la biodégradation par les bactéries du sol (nitrification/dénitrification). Le protoxyde d'azote a aussi une origine agro-industrielle pour la production d'engrais (brulage d'acide nitrique). Dans le cadre de l'élevage de ruminants, les sources d'émissions de protoxyde d'azote sont liées à la gestion des déjections animales, majoritairement lors de l'épandage et du pâturage des animaux (Gac *et al.*, 2007). L'utilisation d'engrais minéraux riches en azote pour fertiliser les prairies et/ou les cultures contribue en outre aux émissions de N₂O (Mosier *et al.*, 1998).

I.2. La part de l'élevage de ruminants dans les émissions de CO₂, CH₄ et N₂O

La part de l'élevage de ruminants dans les émissions de dioxyde de carbone, de méthane et de protoxyde d'azote, à

l'échelle du monde, de l'Europe et de la France sont déclinées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Participation de l'élevage de ruminants aux émissions de méthane, protoxyde d'azote et dioxyde de carbone à l'échelle du monde, de l'Europe et de la France

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Monde	< 2%	25%	24%
Europe à 28	< 2%	43%	18%
France	< 3%	67%	6%

Sources : FAOSTAT pour valeurs monde (données 2010), EEA pour valeurs Europe (données 2012) et Citepa pour valeur France (données 2013)

II. LES METHODES D'EVALUATION DES EMISSIONS DE GES : DE L'INVENTAIRE A L'ACV

L'évaluation des émissions de gaz à effet de serre peut se faire selon deux approches : la première consiste à réaliser un inventaire des GES directement émis sur le territoire par l'ensemble des acteurs et répartis par secteur d'activités. Cette méthode est utilisée par le GIEC (Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) pour évaluer la contribution de chaque secteur économique aux émissions anthropiques annuelles. La seconde méthode vise à apprécier l'impact d'un produit, d'un service ou d'un système en

comptabilisant l'ensemble de ses émissions, directes et indirectes, et ce, en considérant toutes les étapes de son cycle de vie (Analyse de cycle de vie ou ACV). Alors que la première va renseigner sur les émissions du sous-secteur économique de l'élevage - c'est-à-dire les GES générés pendant la phase de production agricole, *i.e.* sur l'exploitation d'élevage, sans prise en compte des surfaces associées - la seconde permet d'évaluer le poids carbone de la viande bovine. Le périmètre d'étude de l'ACV étant bien plus large

que la seule activité d'élevage - il englobe des émissions de l'élevage liées aux secteurs du bâtiment, de l'industrie, des transports et de l'énergie (qui fournissent des intrants, transforment les produits, etc.) - toute comparaison entre des chiffres issus de ces deux méthodes est à proscrire. C'est par exemple le cas pour la comparaison largement médiatisée depuis 2006 entre les émissions de GES liées à l'élevage et ses filières et celles des transports. Provenant d'une comparaison entre les chiffres du GIEC issu d'inventaire - les émissions du secteur économique des transports représentent

III. LES EMISSIONS DE L'ELEVAGE ET DE LA PRODUCTION DE VIANDE DE RUMINANTS (MONDE, UE28, FRANCE)

Une fois les volumes de gaz à effet de serre évalués, l'utilisation du potentiel de réchauffement global (PRG) de

III.1. Les émissions du secteur de l'élevage

D'après le dernier rapport du GIEC, les émissions mondiales de GES pour l'année 2010 totalisaient 49 Gt CO_{2e}, dont 65% de dioxyde de carbone lié à l'utilisation d'énergies fossiles et aux procédés industriels, 16% de méthane et 6% de protoxyde d'azote (IPCC, 2014). Le secteur agricole mondial a contribué à hauteur de 11%, comptabilisé par le GIEC au sein du secteur AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use) (Smith et al., 2014 ; Tubiello et al., 2014). Parmi elles, les émissions de gaz à effet de serre liées à l'activité d'élevage de ruminants sont majoritaires : la fermentation entérique et la fertilisation des pâtures par les déjections animales regroupent plus de la moitié des émissions agricoles dans le monde (Gac et al., 2014). En ajoutant les émissions liées à la gestion du fumier et à son application sur les sols cultivés, l'élevage de ruminants participe à hauteur de 66% des émissions mondiales associées à l'agriculture, soit 7% des émissions mondiales. Cependant, dans le cadre des inventaires du GIEC, les émissions liées à l'épandage et au pâturage sont attribuées au sous-secteur des cultures et non à

III.2. Les émissions générées par la production de viande bovine et ovine

L'élevage mondial assure la fourniture de viande, lait et œufs pour l'alimentation humaine. Afin de calculer l'impact global de cette production, la FAO a développé un modèle qui évalue l'efficacité dans l'utilisation des ressources et les impacts environnementaux de l'élevage selon la méthode d'analyse de cycle de vie (cf. infra). En comptabilisant les GES depuis la culture qui alimente le bétail jusqu'à la fabrication des emballages qui servent à distribuer la viande, le lait ou les œufs au consommateur, la FAO évalue à 14,5% la contribution de ces productions aux émissions mondiales pour l'année 2005 (Gerber et al., 2013). En particulier, la viande bovine en comptabilise 41% (2,9 Gt CO_{2e}) soit environ 6% des émissions anthropiques mondiales. Ramené au kilogramme de poids de carcasse, l'intensité d'émissions ou « poids carbone » est en moyenne de 46,2 KgCO_{2e} pour le bœuf et 23,8 kgCO_{2e} pour la viande de petits ruminants (ovins et caprins), dont la production totalise 0,3 Gt CO_{2e}. Au niveau européen, le Joint Research Center (JRC), laboratoire de recherche scientifique et technique de la Commission européenne a calculé la contribution des principaux produits animaux aux émissions européennes de GES pour l'année 2004 (entre 623 et 852 Mt CO_{2e} pour la production de viande,

14% des gaz à effet de serre (IPCC, 2014) - et ceux de la FAO (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture) issu d'ACV - la fourniture de viande, lait et œuf totalise 14,5% des émissions anthropiques mondiales (Gerber et al., 2013), cette comparaison est diffusée à tort comme mettant en regard deux secteurs économiques, alors qu'elle compare les émissions générées par l'ensemble des filières mondiales de production de protéines animales terrestre, à la seule utilisation des transports dans le monde (modalité de transport, fréquence de déplacement, carburant et distance).

chaque gaz permet de calculer la contribution au changement climatique (en CO_{2e}).

l'élevage, car considérées comme des émissions issues des sols cultivés. Les émissions rapportées à l'élevage concernent donc uniquement la fermentation entérique et la gestion des déjections animales, au bâtiment et au stockage. En accord avec cette méthodologie, l'élevage mondial de ruminants ne totalise qu'un peu plus de 5% des émissions mondiales anthropiques (Smith et al., 2014). A l'échelle de l'Europe, l'élevage contribue à la moitié des émissions agricoles, soit 5% aussi des GES pour l'année 2012 (EEA, 2015). En France en 2013, selon l'inventaire national d'émissions de GES, l'élevage a contribué à 46% des émissions agricoles, soit 9% des émissions nationales (477 millions de tonnes CO_{2e} hors UTCF ; Citepa, 2015). En comptabilisant en outre une partie des émissions des sols pâturés, des autres sols (qui ne sont pas comptabilisés au crédit du sous-secteur de l'élevage mais à celui des cultures, cf. infra) et celles liées à l'utilisation d'énergie, le total de la contribution de la filière ruminants avoisine 80% des GES agricoles, soit environ 15% des GES nationaux (Dollé et al., 2015).

lait et œuf). Dans ce volume, la production de viande de bœuf occupe 28-29%, à part égale avec le lait de vache (28-30%), soit l'équivalent de 4 à 6% des émissions du Vieux continent (Weiss et al., 2012). La viande de petits ruminants en totalise moins de 1%. En France, la base de données Agribalyse® chiffre le poids carbone moyen d'un kg de viande bovine en sortie de ferme à 11,9 kg CO_{2e} et 18 kg CO_{2e} pour un kilo de viande ovine (moyenne pour une brebis allaitante de réforme, conventionnelle en système bergerie) (Agribalyse®, 2015). En intégrant les émissions de la phase aval jusqu'à la distribution (étape d'abattage et de transports), l'empreinte carbone moyenne de viande de gros bovin est d'environ 23 kgCO_{2e}/kg de viande transformée et celle d'ovin de 19 kg CO_{2e} (Gac et al., 2015).

Une fois les émissions de gaz à effet de serre comptabilisées, le bilan de l'influence climatique demande à prendre en compte les absorptions de GES. En effet, à travers les surfaces en prairie qui participent à l'alimentation des animaux (via le pâturage et le fourrage/ensilage), l'élevage de ruminants, et plus largement d'herbivores, possède une seconde influence sur le climat.

IV. LES ABSORPTIONS DE CO₂ OU LE STOCKAGE DE CARBONE PAR LES PRAIRIES

IV.1. De la photosynthèse au stockage de carbone dans les sols

A l'instar de toutes les plantes, les espèces végétales de la prairie synthétisent de la matière organique à partir du dioxyde de carbone qu'elles assimilent dans l'atmosphère grâce à l'énergie solaire : c'est la photosynthèse. Une partie de ce carbone (plusieurs dizaine de% selon Arrouays et *al.*, 2002) retourne rapidement dans l'atmosphère à travers le phénomène de respiration des végétaux (aérienne et racinaire). La différence entre le flux entrant (la photosynthèse) et sortant (la respiration) constitue la production de carbone organique de la végétation. La matière organique carbonée entre dans le sol sous trois formes complémentaires (Balesdent et *al.*, 2000) : des feuilles sénescentes ou non exploitées par les animaux, l'accumulation des racines mortes et l'activité des racines vivantes qui va fournir une partie de ce carbone directement dans le sol pendant toute la croissance du végétal (rhizodéposition). Une fois dans le sol, une grande partie de cette biomasse est soumise à différentes transformations et dégradations, essentiellement par des organismes vivants du sol : microfaune (fragmentation de la matière) et micro-organismes (champignons et bactéries) pour la minéralisation. Ces organismes vont décomposer la matière organique : ils restituent 60% du carbone à l'atmosphère sous forme de dioxyde de carbone par le biais de la respiration du

sol et en assimilent aux alentours de 40%. La matière organique est d'abord transformée en fraction labile (glucides, lipides, phospholipides, protéines) puis plus stable et peu dégradables (lignine) avant de rentrer dans les fractions protégées de la décomposition, avec une durée de vie entre 25 ans (substances humiques) et des décennies ou plus de 1000 ans pour les fractions stables. Celles-ci étant lentement dégradables, elles constituent la fraction dominante des matières organiques des sols (Arrouays et *al.*, 2002). Le stockage de carbone représente ainsi un continuum de dégradation depuis les litières fraîchement allouées au sol jusqu'aux formes les plus évoluées. Ces différentes étapes de dégradation peuvent être caractérisées par la taille des particules et leurs temps de résidence différents en fonction de leur taux de dégradation (Six et *al.*, 2002 ; Loiseau et *al.*, 2005). A chaque étape de dégradation une partie du carbone fixée est relâchée dans l'atmosphère et participe à l'effet de serre. La question du temps de résidence du carbone organique dans les sols se révèle de ce fait très importante au regard de l'enjeu de lutte contre le réchauffement climatique : tant que le carbone est piégé dans le sol, il ne rejoint pas l'atmosphère et ne participe donc pas à augmenter le forçage radiatif. L'effet de réchauffement climatique est ainsi réduit.

IV.2. Profondeur et durée de résidence du carbone dans les sols

Dans les sols, le carbone se distribue verticalement en régime dynamique, entre les apports par la végétation et la minéralisation par les micro-organismes (Arrouays et *al.*, 2002). Stockage et déstockage sont simultanés et continus : à tout instant du carbone organique est transféré dans le sol par les végétaux (vivants ou morts ou par un apport organique externe de type fumier) et du carbone minéral est émis par voie gazeuse sous l'action de la respiration des micro-organismes qui dégradent la matière organique. Cependant, les deux phénomènes n'ont pas la même cinétique (Soussana et *al.*, 2004). Un sol déstocke plus vite qu'il ne stocke : pour un pas de temps de 20 ans, la vitesse de déstockage est deux fois plus rapide que celle de stockage (Arrouays, 2008, Pöpelau et *al.*, 2011).

La durée de stockage du carbone est plus ou moins longue selon les conditions du milieu (sol, pratiques, cultures, climat), particulièrement en fonction des températures annuelles moyennes et de la respiration des micro-organismes du sol (Schimel et *al.*, 1994 ; Kirschbaum M.U.F, 1994). Le temps de résidence dans le sol va donc surtout dépendre de la vitesse de dégradation/minéralisation, qui diminue fortement avec la profondeur (Fontaine et *al.*, 2007, Beniston et *al.*, 2014). Les matières organiques issues des processus de dégradation microbienne deviennent de plus en plus récalcitrantes et vont en partie être stockées dans le sol du fait de leurs liaisons et associations avec les minéraux. Le carbone qui n'est pas lié aux minéraux reste dans la solution du sol (carbone organique dissout) et pourra être entraîné par les eaux de drainage vers les couches profondes du sol (Rasse et *al.*, 2006) ou lessivé (Kindler et *al.*, 2011). Plus le carbone sera transféré vers les couches profondes, moins il sera dégradé. Le temps de stockage moyen du carbone organique augmente donc considérablement avec la profondeur, pouvant atteindre jusqu'à 10 000 ans dans les couches de sol les plus profondes (Martel et *al.*, 1974 ; Schöning et *al.*,

2006). Dans le cas des cultures céréalières avec un horizon du sol travaillé (labour 0-40cm) (Balesdent et Recous, 1997) la répartition du carbone est composée en quatre compartiments homogènes, dont le premier, très labile, est biodégradé dans l'année (75% du carbone apporté), le reste étant réparti en trois compartiments de temps moyen de résidence respectifs de 4, 40 et plus de 1000 ans. Dans le cas des prairies du Massif Central par exemple, Fontaine et *al.* (2007) met en évidence un carbone âgé de plus de 2500 ans stocké entre 60 et 80 cm de profondeur. La minéralisation des matières organiques dépend de nombreux facteurs comme l'explique Arrouays, (2008) : contexte pédoclimatique (température, humidité et aération du sol, acidité, teneur en argile, minéralogie...), nature des composés organiques (molécules plus ou moins biodégradables) et de leur localisation (accessibilité de ces composés aux micro-organismes...). Les différents travaux de recherche menés sur le sujet mettent notamment en lumière le rôle de l'argile dans la capacité d'un sol à stocker du carbone à long terme (Arrouays, 2002). Jones&Donnelly (2004) expliquent qu'une grande partie de la matière organique des sols est physiquement protégée de la décomposition par des minéraux argileux, enveloppé au sein d'agrégats. Le carbone organique ainsi complexé aux argiles est considéré comme du carbone stocké (Dexter, 2008). La minéralisation demande donc de l'énergie pour dégrader le carbone, qui plus est lorsqu'il se retrouve complexé à une phase minérale. Or, les plantes fournissent la matière organique facilement dégradable à la surface, et en profondeur, le carbone est déjà dégradé et donc récalcitrant (pauvre en énergie). Limités par l'énergie disponible (ou en d'autres termes, la matière organique fraîche facilement dégradable), les micro-organismes ont une activité restreinte de dégradation, ce qui explique la stabilité du carbone, et donc l'allongement de sa durée de stockage en profondeur (Fontaine et *al.*, 2007).

V. L'INFLUENCE CLIMATIQUE : DE LA PRAIRIE NEUTRE AU PROGRAMME 4 POUR 1000

L'évaluation du stockage de carbone et plus généralement des flux de carbone entre le sol et l'atmosphère demande du temps. Depuis 2002, plusieurs projets européens ont permis de constituer un large réseau de mesures de stockage de carbone in situ. Au total, ce sont 39 sites répartis sur 15 pays européens pendant 11 ans (totalisant un nombre de mesure de 213 sites année) qui ont permis d'estimer une valeur moyenne du stockage carbone pour la prairie tempérée de $76.4 \pm 11 \text{ gC/m}^2/\text{an}$, soit 760 kg par hectare et par an (Soussana et al., 2014). Ce chiffre correspond au bilan net des échanges entre le sol et l'atmosphère, c'est-à-dire la différence entre les quantités stockées et déstockées tout au long de l'année d'un écosystème prairial et les émissions. Ramené à l'unité de référence du changement climatique, ce stockage équivaut à $2,8 \text{ tCO}_2\text{eq/ha/an}$. Selon les conditions climatiques et en fonction du taux de chargement, une prairie peut ainsi tendre vers la « neutralité carbone », c'est-à-dire la compensation par son stockage des émissions de méthane entérique et de protoxyde d'azote lié au sol : en considérant l'apport de déjections animales sur la parcelle et une durée de pâturage de 200 jours, le chargement optimal pour atteindre une prairie « neutre en carbone » est de $1,2 \text{ UGB/ha}$ (Soussana et al., 2014b).

Le stockage de carbone présente donc un potentiel d'atténuation non négligeable, permettant d'atteindre la neutralité carbone au niveau d'une prairie, mais aussi en mesure de compenser les émissions de GES à l'échelle de la planète. C'est le cadre du programme 4 pour 1000 lancé

en mars dernier en vue de la COP21 qui se tient en décembre à Paris. Chaque année environ 4 milliards de tonnes de carbone s'ajoutent dans l'atmosphère. Cette quantité résulte du bilan entre les émissions de gaz à effet de serre et les puits de carbone annuels. Le flux émetteur le plus important se situe au niveau des zones industrielles et urbaines avec environ 9 milliards de tonnes de carbone issues de la combustion des énergies fossiles et de la production de ciment. Ces émissions sont partiellement compensées par le bilan de la photosynthèse et de la respiration des végétaux (près de 3 milliards de tonnes) ainsi que par la dissolution du carbone dans les océans (2,6 milliards de tonnes). Pour compenser l'intégralité des émissions de carbone fossile par le stockage carbone, il faut augmenter le stock de carbone organique des sols de près de $3,5 \text{ Gt C}$ par an. Les stocks de C des sols de la planète jusqu'à 40 cm de profondeur étant de 820 Gt de carbone (LeQuéré et al., 2014), la compensation est en conséquence $3,5/820 = 4,3\%$.

Cependant, en dépit de cette reconnaissance, la prise en compte du stockage de carbone dans l'évaluation de la contribution au changement climatique des filières d'élevage peine, notamment car elle ne s'appuie pas uniquement sur des données scientifiques mais nécessite des jugements de valeurs, par exemple sur le temps considéré pour calculer l'influence climatique (Brandão et al., 2012). Elle est cependant indispensable pour la réalisation d'un bilan rigoureux sur l'influence climatique de l'élevage de ruminants ou pour le calcul de l'empreinte carbone de la viande.

CONCLUSION

L'élevage de ruminants et la production de viande bovine et ovine exercent deux influences sur le climat. A travers l'émission de gaz à effet de serre, tels que le méthane, le protoxyde d'azote et le dioxyde de carbone, l'activité d'élevage de ruminants contribue au réchauffement climatique comme tout secteur d'activité. En termes de proportion, la participation du sous-secteur économique que représente l'élevage aux inventaires mondiaux, européens et français s'élève respectivement à 5%, 5% et 9%.

La seconde influence sur le climat concerne l'absorption de gaz à effet de serre à travers le stockage de carbone dans les sols des prairies. Fruit de la photosynthèse et de la respiration, le stockage de carbone constitue un levier d'atténuation du changement climatique : tant que le carbone est piégé dans le sol, il ne rejoint pas l'atmosphère et ne participe donc pas à augmenter l'effet de réchauffement. Stockage et déstockage étant des flux continus qui se

déroulent à des vitesses différentes, tout l'enjeu d'atténuation climatique réside dans l'accumulation et le maintien de carbone dans les sols à long terme : la conservation des stocks de carbone déjà existants dans les sols est tout aussi importante que l'augmentation de la capacité de stockage des prairies.

Qu'il s'agisse de la neutralité carbone au niveau d'une prairie ou du programme 4 pour mille pour la planète, le stockage de carbone est aujourd'hui suffisamment compris pour être reconnu comme levier de compensation des émissions de gaz à effet de serre. Cependant, sa prise en compte dans l'évaluation de la contribution de l'élevage de ruminants au changement climatique n'est toujours pas effective, alors qu'elle constitue un élément indispensable à la réalisation du bilan de l'influence climatique et a un calcul rigoureux de l'empreinte carbone de la viande bovine et ovine.

Références :

- Agribalyse® version 1.2 (2015). www.ademe.fr/agribalyse, mars 2015.
- Arrouays D. (2008). Changement climatique et évolution du stockage de carbone dans les sols: enjeux et incertitudes. OCL 5, 314-316.
- Arrouays D. (2008). Changement climatique et évolution du stockage de carbone dans les sols: enjeux et incertitudes. OCL 5, 314-316.
- Arrouays D., Stengel P., Balesdent J., Soussana J.-F., Jayet P.-A., Germon J.C., Guichard L. (2002). Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? INRA Expertise Scientifique Collective: INRA Editions.

- Balesdent J. et Recous S. (1997). Les temps de résidence du carbone et le potentiel de stockage de carbone dans quelques sols cultivés français. *Canadian Journal of Soil Science* 77, 187-193.
- Balesdent J., Chenu C., Balabane M. (2000). Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Tillage Research* 53, 215-230.
- Beniston J.W., DuPont S.T., Glover J.D., Lal R., Dungait J.A.J. (2014). Soil organic carbon dynamics 75 years after land-use change in perennial grassland and annual wheat agricultural systems. *Biogeochemistry* 120, 37-49.
- Brandao M., Lévassieur A. et al. (2012). Key issues and options in accounting for carbon sequestration and temporary storage in life cycle assessment and carbon footprinting. *Int J Life Cycle Assess* (2013) 18:230-240.
- CITEPA (2015). Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France – Format SECTEN ; Dexter A.R., Richard G., Arrouays D., Czyz E.A., Jolivet C., Duval O., 2008. Complexed organic matter controls physical soil properties. *Geoderma* 144, 620-7.
- Dollé J.-B., Moreau S., Brocas C., Gac A., Raynal J., Duclos A. (2015). Elevage de ruminants et changement climatique. Institut de l'Élevage, Coll. L'Essentiel.EEA, 2015. GHG Data Viewer (<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>).
- Fontaine S., Barot S., Barré P., Bdioui N., Mary B., Rumpel C. (2007). Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. *Nature* 450, 277-281.
- Gac A., Agabriel J., Dollé J.-B., Favardin P., Van Der Werf H. (2014). Le potentiel d'atténuation des gaz à effet de serre en productions bovines. *Innovations Agronomiques* 37, 67-81.
- Gac A., Béline F. Bioteau T., Maguet K. (2007). A French inventory of gaseous emissions (CH₄, N₂O, NH₃) from livestock manure management using a mass-flow approach. *Livestock Science* 112, 252-260.
- Gac A., Lorinquer E., Moreau S., Manneville V., Dollé J.-B., Château L., Devillers P.H. (2015). Empreinte environnementale des viandes bovines et ovines françaises et étrangères : revue bibliographique et évaluations des impacts environnementaux potentiels. Coll. Résultats, Institut de l'Élevage, 178p.
- Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Falcucci A., Tempio G. (2013). Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Jones M.B., Donnelly A. (2004). Carbon sequestration in temperate grassland ecosystems and the influence of management, climate and elevated CO₂. *New Phytologist* 164, 423-439.
- Journet M., Dulphy J.P., Geay Y., Liénard G. (2013). Les herbivores et la planète, *Courrier de l'Environnement* 63, 87-102 ; Kindler et al. (2011). Dissolved carbon leaching from soil is a crucial component of the net ecosystem carbon balance. *Global Change Biology* 17, 1167-1185.
- Kirschbaum M.U.F. (1994). The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biol. Biochem.* 27, 753-760.
- Le Quéré C., Moriarty R., Andrew R. M., Peters G. P., Ciais, P., et al. (2014). Global carbon budget 2014, *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* 7, 521-610.
- Loiseau P., Louault F., Le Roux X., Bardy M. (2005). Does extensification of rich grasslands alter the C and N cycles, directly or via species composition? *Basic and Applied Ecology* 6, 275-287.
- Martel, Y. A., Paul, E. A. (1974). The use of radiocarbon dating of organic matter in the study of soil genesis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 38, 501-506.
- Mosier A., Kroeze C., Nevison C., Oenema O., Seitzinger S., van Cleemput O. (1998). Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52, 225-248.
- Poeplau C, Don A, Vesterdal L, et al. (2011). Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone-carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology* 17, 2415-2427.
- Popova M., Morgavi D.P., Doreau M., Martin C. (2011). Production de méthane et interactions microbiennes dans le rumen. *INRA Prod. Anim.* 5, 447-460.
- Rasse D.P., Mulder J., Moni C., Chenu C. (2006). Carbon Turnover Kinetics with Depth in a French Loamy Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 2097-2105.
- Schimel D.S., Braswell B.H., Holland E.A., McKeown R., Ojima D.S., Painter T.H., Parton W.J., Townsend A.R. (1994). Climatic, edaphic, and biotic controls over storage turnover of carbon in soils. *Global Biogeochem. Cycles* 8, 279-293.
- Schöning, I., Kögel-Knabner, I. (2006). Chemical composition of young and old carbon pools throughout Cambisol and Luvisol profiles under forests. *Soil Biol. Biochem.* 38, 2411-2424.
- Six J., Callewaert P., Lenders S., De Gryze S., Morris S.J., Gregorich E.G., Paul E.A., Paustian K. (2002). Measuring and Understanding Carbon Storage in Afforested Soils by Physical Fractionation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1981-1987.
- Smith P., Bustamante M., Ahammad H., Clark H., Dong H., Elsiddig E.A., Haberl H., Harper R., House J., Jafari M., Masera O., Mbow C., Ravindranath N.H., Rice C.W., Robledo Abad C., Romanovskaya A., Sperling F., Tubiello F. (2014). Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Soussana J.-F., Klumpp K. (2014). Mitigating GHG emissions from ruminant livestock systems through the management of carbon sequestration in grasslands. *Proceedings of the Livestock, Climate Change and Food Security Conference, Madrid, Spain*, p.80.

Soussana J.-F., Klumpp K., Ehrhardt F. (2014b). The role of grassland in mitigating climate change. Proceedings of EGF at 50: The future of European grasslands, Grassland Science in Europe 19, 75-87.

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 Manage. 20, 219–230.

Tubiello F., Salvatore M., Córdor Golec R.D., Ferrara A., Rossi S., Biancalani R., Federici S., Jacobs H., Flammini A. (2014). Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks. 1990 – 2011 Analysis. ESS Working Paper No. 2, Mar 2014, FAO, Rome.

Weiss F., Leip A. (2012). Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: A life cycle assessment carried out with the CAPRI model. Agriculture, Ecosystems and Environment 149, 124–134.

