

# Bilans Gaz à Effet de Serre d'un écosystème sylvo-pastoral tropical dans la zone semi-aride du Sénégal

ASSOUMA M. H. (1), VAYSSIERES J. (1), BERNOUX M. (2), HIERNAUX P. (3), LECOMTE P. (4)

(1) CIRAD - Umr Selmets, 37 av. Jean XXIII, Dakar Etoile, BP 6189 Dakar, Sénégal

(2) IRD - Umr Eco&Sols, SupAgro, 2 place Viala, 34060 Montpellier, France

(3) CNRS - Umr Get, 14 avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France

(4) CIRAD - Umr Selmets, Campus International Baillarguet, 34398 Montpellier, France

## RESUME

Les systèmes pâturant extensifs d'Afrique sub-saharienne sont responsables de hauts niveaux d'émissions de Gaz à effet de Serre (GES) par unité de produits animaux, dû à la faible productivité du bétail et à des rations fortement méthanogènes. Ce travail propose un bilan GES original à l'échelle d'un écosystème sylvo-pastoral caractérisé par un élevage extensif de bovins, d'ovins et de caprins dans la zone semi-aride au nord du Sénégal, au Ferlo. Les principales sources d'émission sont la fermentation entérique (56%) et la déposition de fèces des ruminants (18%). Le feu et les termites sont également d'importantes sources d'émissions. Ils représentent à eux deux environ 20% des émissions. Le bilan GES ramené au kg de produit est de 39,6 kg eq.CO<sub>2</sub>/kg de poids vif et 9,8 kg eq.CO<sub>2</sub>/kg de lait corrigé en protéines et matières grasses (FPCM) pour les bovins et environ 15,8 kg eq.CO<sub>2</sub>/kg de poids vif et 7,7 kg eq.CO<sub>2</sub>/kg FPCM (*Fat and Protein Corrected Milk*) pour les petits ruminants. Si l'on tient compte de l'accumulation annuelle de carbone (C) dans le sol et les arbres, l'écosystème présente globalement un bilan GES net négatif de -0,1 t.eq.CO<sub>2</sub>/ha/an. Autrement dit, les émissions liées au troupeau sont compensées par la séquestration de carbone dans l'écosystème pris dans son ensemble.

## Greenhouse Gas Balances of a Tropical Sylvo-Pastoral Ecosystem in Senegal's Semi-Arid Region

ASSOUMA M. H. (1), VAYSSIERES J. (1), BERNOUX M. (2), HIERNAUX P. (3), LECOMTE P. (4)

(1) CIRAD - Umr Selmets, 37 av. Jean XXIII, Dakar Etoile, BP 6189 Dakar, Senegal

## SUMMARY

Extensive pastoral systems of sub-Saharan Africa are said to be responsible for the highest rates of greenhouse gas (GHG) emissions per unit of animal products due to the low productivity of herds and the high methanogen potential of diets. This study offers an original GHG balance of a sylvo-pastoral ecosystem including small and large ruminants in the Ferlo, a semi-arid region of Senegal. The main sources of emissions are enteric fermentation (56%) and deposition of ruminants faeces (18%). Fire and termites, two other important sources of emissions, together contribute to about 20% of emissions. The GHG balances per kg of animal products are 39.6 kg eq. CO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup> of liveweight and 9.8 kg eq.CO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup> FPCM (Fat and Protein Corrected Milk) for cattle and roughly 15.8 kg eq.CO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup> of liveweight and 7.7 kg eq. CO<sub>2</sub>.kg<sup>-1</sup> FPCM for small ruminants. Taking into account annual carbon accumulation in the soil and trees, the net GHG balance is negative: - 0.1 t eq.CO<sub>2</sub>.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>, i.e. emissions from herds are compensated by carbon sequestration.

## INTRODUCTION

Le rapport de la FAO de 2013 confirme la contribution importante de l'élevage aux émissions mondiales de Gaz à Effet de Serre (GES) d'origine anthropique (Gerber et al., 2013). Ces émissions s'élèvent à 7,1 gigatonnes d'équivalent CO<sub>2</sub> par an, soit 14,5 % des émissions totales d'origine anthropique (Ripple et al., 2014). La croissance démographique et l'évolution des habitudes alimentaires pourraient conduire à revoir ce chiffre à la hausse dans les prochaines décennies (McAlpine et al., 2009; Janzen, 2011). Les principales sources d'émissions correspondent à la production des aliments du bétail (45 %), la fermentation entérique des ruminants (39 %) et la décomposition des déjections animales et autres effluents d'élevage (10 %). Le reste est imputable à la transformation et au transport des produits animaux (Gerber et al., 2013). Cette étude de la FAO montre que l'élevage en Afrique Subsaharienne serait un des plus émetteurs de GES par unité de produit (viande ou lait). Plus particulièrement les systèmes pastoraux valorisent de vastes superficies de terres impropres à l'agriculture et constituent bien souvent la seule activité agricole dans ces milieux caractérisés par une grande variabilité saisonnière et interannuelle des ressources en biomasse végétale et en eau (FAO et CIRAD, 2012). Ce sont

des systèmes particulièrement complexes car à conduite ouvertes et de par les fortes interactions animal-sol-plantes. Ils sont encore peu étudiés comme l'indique la faible documentation scientifique disponible concernant leur bilan GES. Les seuls résultats disponibles donnent des bilans basés sur des chiffres moyens pour l'Afrique Sub-Saharienne (Steinfeld et al., 2006 ; Gerber et al., 2013). De façon complémentaire à ces études régionales, cette communication propose un bilan GES d'une étude de cas, l'aire de desserte du forage de Widou au Ferlo, dans la zone semi-aride du Sénégal. Elle permet de faire le lien entre le fonctionnement de l'écosystème sylvo-pastoral et les différents indicateurs des bilans.

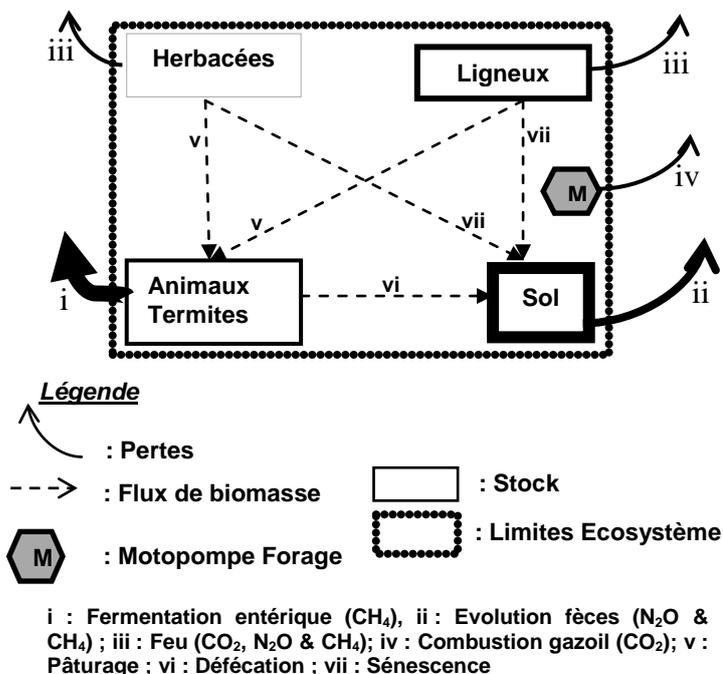
## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. LE SYSTEME ETUDIE

La région du Ferlo est organisée en un maillage de forages espacés de 30 km en moyenne pour faciliter l'abreuvement des animaux en saison sèche. L'aire de desserte d'un forage a donc été retenue comme unité spatiale d'analyse (cercle de 15 km de rayon autour du forage, soit environ 700 km<sup>2</sup>). L'aire de desserte du forage de Widou comporte 354 campements. Son cheptel est constitué majoritairement de ruminants (bovins, ovins et caprins) élevés pour la viande et

leur lait, et secondairement de monogastriques (asines et équins) utilisés comme force de traction.

Pour réaliser les bilans GES, un modèle conceptuel du fonctionnement de l'écosystème sylvo-pastoral a été proposé (Figure 1). Il inventorie les principaux stocks et flux de carbone et azote. En figure 1, l'épaisseur des flèches et des cadres est proportionnelle à l'importance des flux et des stocks respectivement. Le bilan GES ici proposé tient compte d'une part des principales émissions de GES (flèches arrondies vers le haut) et d'autre part des variations de stock de carbone dans l'écosystème. Le système étudié mobilisant peu d'intrants les émissions indirectes en amont du système n'ont pas été considérées.



**Figure 1 :** Modèle conceptuel simplifié du fonctionnement d'un écosystème sylvo-pastoral en terme de stock-flux de carbone et azote.

## 1.2. EVALUATION DES VARIATIONS DE STOCKS DE CARBONE

Les trois stocks de carbone considérés sont les animaux, le sol, et la végétation ligneuse et herbacée. Pour les animaux, un inventaire complet des troupeaux a été réalisé par enquête auprès des 354 campements. La productivité numérique, le gain moyen quotidien (FAO, 2013), la productivité en lait de toutes les espèces (Corniaux *et al.*, 2012 ; IPCC, 1997) et les facteurs de conversion des biomasses en carbone (Garnier-Laplace *et al.*, 2001) ont permis d'évaluer les variations annuelles de stock de carbone. Pour le sol, une accumulation moyenne de 0,2 t C/ha/an a été retenue (Robert, 2002). Pour la végétation ligneuse, l'équation proposée par la FAO (1997) a été utilisée pour évaluer la croissance de la biomasse aérienne. La biomasse souterraine a été estimée à 38% de la biomasse aérienne (Woomer *et al.*, 2004). Pour la végétation herbacée un bilan nul a été retenu étant donné la dominance de plantes annuelles entièrement consommées ou dégradées à un pas de temps annuel.

## 1.3. EVALUATION DES PRINCIPALES EMISSIONS DE GES

Les émissions (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) liées aux troupeaux ont été évaluées selon la méthode IPCC Tiers1 (IPCC, 2006). Les émissions de CH<sub>4</sub> liées à la présence des termites ont été calculées selon les facteurs d'émission proposés par Traoré *et al.* (2008). Les émissions de gaz (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) résultant du feu ont été évaluées suivant les lignes directrices de l'IPCC (1997) tandis que celles liées à la combustion de Gasoil de la Motopompe (CO<sub>2</sub>) selon le facteur d'émission proposé par l'ADEME (2010).

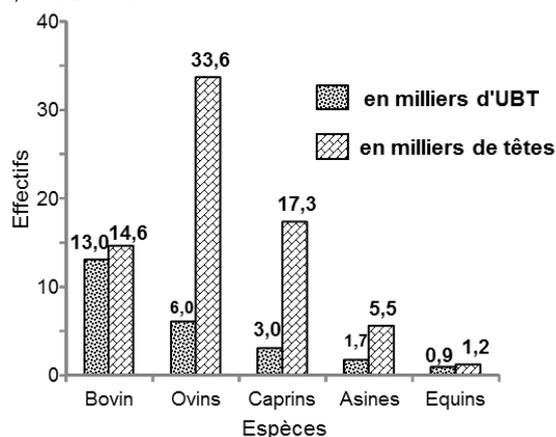
## 1.4. TROIS TYPES DE BILAN GES CALCULES

Trois types de bilan GES sont calculés dans cette étude. Le bilan GES brut par kg de produits animaux correspond à la somme des émissions liées à la catégorie animale considérée (bovins ou petits ruminants) ramenée à la production de cette catégorie en kg de viande (en kg de poids vif) ou de lait (en kg de lait corrigé, FPCM pour *fat and protein corrected milk*). Le bilan GES brut à l'échelle de l'écosystème par ha ou par habitant comptabilise l'ensemble des émissions intervenant dans le territoire considéré à savoir les émissions liées aux activités d'élevage mais aussi celles liées aux termites et aux feux. Enfin le bilan GES net à l'échelle de l'écosystème correspond au bilan GES brut à l'échelle de l'écosystème auquel a été retranchée la variation de stock de carbone des trois principaux stocks de l'écosystème (sol, végétation et animaux). Seul le bilan GES brut par kg de produit intègre une allocation entre la viande et le lait. Cette dernière est de type protéique.

## 2. RESULTATS

### 2.1. CHEPTEL PRESENT

La population totale humaine et animale est respectivement de 4 676 habitants (hab) et 24 625 Unités Bovin tropical (UBT, équivalent de l'UGB en contexte tropical), soit une densité humaine de 7 hab./km<sup>2</sup> et un chargement animal de 0,35 UBT/ha.



**Figure 2 :** Composition du cheptel autour du forage de Widou

La répartition de la population animale par espèce est donnée en Figure 2. Les ruminants (bovins, ovins et caprins) représentent la majorité des effectifs (89 %). Les autres herbivores (asins et équins) représentent environ 11 % de tout le cheptel et sont un ensemble non négligeable dans le fonctionnement de l'écosystème. Ils sont largement mobilisés pour le transport de l'eau destinée entre autres à l'abreuvement des animaux maintenus à proximité des campements (jeunes animaux, femelles en fin de gestation).

## 2.2. ACCUMULATION DE CARBONE DANS L'ECOSYSTEME

L'accumulation annuelle de carbone dans tout l'écosystème en considérant les trois principales composantes (sol, végétation et animaux) est de 54,44 kt eq.CO<sub>2</sub>/an. Le sol constitue le principal réservoir de carbone de l'écosystème et sa variation est très largement supérieure à celle des végétaux et des animaux (Figure 3).

## 2.3. PRINCIPALES EMISSIONS DE L'ECOSYSTEME

Le total des émissions de GES de l'écosystème est de 47,56 kt eq.CO<sub>2</sub>/an. La Figure 4 indique la répartition de ces émissions selon leurs principales sources. Les ruminants y jouent un rôle majeur (74 % des émissions totales). Elles correspondent principalement à la fermentation entérique (56%), le reste étant dû à la déposition au sol des déjections animales (18%). Les termites et le feu sont également des sources non négligeables. Ils contribuent à environ 20 % des émissions totales. Les non ruminants (asins et équins) contribuent seulement à hauteur de 6 % des émissions totales.

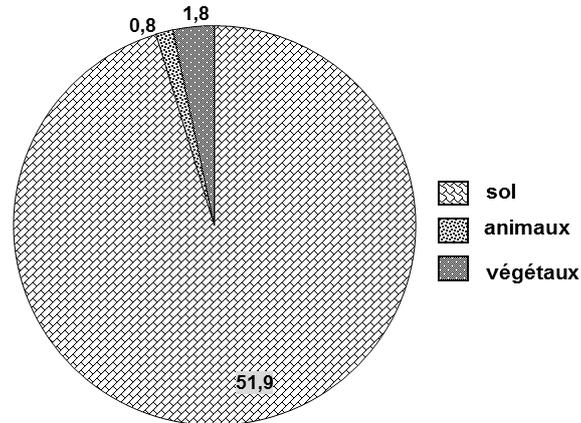


Figure 3 : Accumulation de carbone dans les principaux stocks de l'écosystème sylvo-pastoral (en kt eq.CO<sub>2</sub>/an)

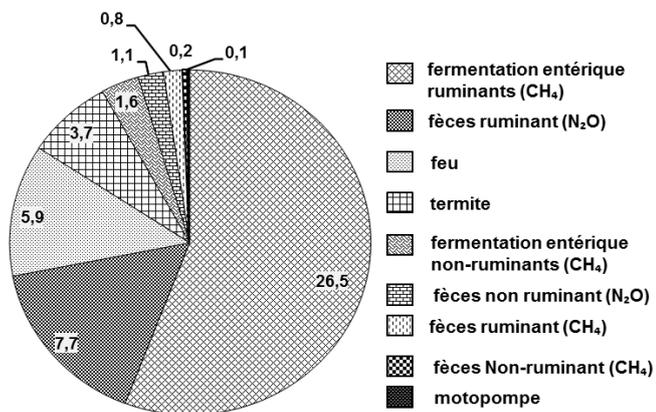


Figure 4 : Principales sources d'émission de GES (en kt eq.CO<sub>2</sub>/an)

## 2.4. BILANS GES

A l'échelle de l'écosystème, le bilan GES brut est de 67,14 kg eq.CO<sub>2</sub>/ha et de 17,1 kg eq.CO<sub>2</sub>/habitants. Les bilans GES bruts ramenés au kilogramme de produits animaux sont de 39,6 kg eq.CO<sub>2</sub>/kg de poids vif et 8,9 kg eq.CO<sub>2</sub>/kg FPCM pour les bovins et de 15,8 kg eq.CO<sub>2</sub>/kg de poids vif et 10,8 kg eq.CO<sub>2</sub>/kg FPCM pour les petits ruminants.

En intégrant les variations annuelles de stocks de carbone dans le bilan on obtient un bilan net négatif de - 0,10 t eq.CO<sub>2</sub>/ha/an.

## 3. DISCUSSION

Les figures 5 et 6 comparent les résultats obtenus dans cette étude avec ceux disponibles dans la littérature (Gerber *et al.*, 2013). Les bilans bruts par unité de produit (viande et lait) restent globalement élevés et légèrement au-dessus de ceux proposés par la FAO (Figure 5). Ces valeurs élevées s'expliquent par la productivité particulièrement faible des troupeaux et de la faible digestibilité des fourrages en systèmes pastoraux (Herrero *et al.*, 2013). Cette étude confirme également l'importance des feux (Koppmann *et al.*, 2005, Lesschen *et al.*, 2013) et des termites (Jamali *et al.*, 2011) dans le bilan GES des écosystèmes sylvo-pastoraux tropicaux.

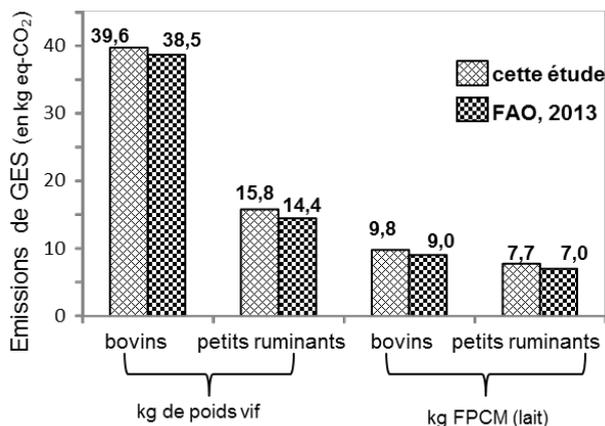


Figure 5 : Bilans GES brut par kg de produits animaux et par espèce

Le bilan net à l'échelle de l'écosystème est négatif. Cela signifie que les émissions sont compensées par la séquestration de carbone dans le sol et la végétation. Le potentiel de mitigation par la séquestration dans le sol sous prairies a déjà été montré par différents travaux (Soussana *et al.*, 2004 & 2010). Les auteurs ont également obtenu dans les prairies d'Europe conduite de manière extensive un bilan GES net négatif de -0,38 à -0,92 t eq.CO<sub>2</sub>/ha/an (-0,97 t eq.CO<sub>2</sub>/ha/an dans notre étude au Sénégal). En Europe, l'herbe consommée par les animaux est non seulement plus digestible et moins méthanogène, mais aussi au regard de la littérature il semblerait que la capacité de séquestration de C dans le sol sous prairies permanentes tempérées soit plus élevée : 0,2 à 0,5 tC/ha/an en Europe (Soussana *et al.*, 2010) versus 0,1 à 0,3 tC/ha/an en zones sèches d'Afrique de l'Ouest, estimation de Robert (2002).

Le bilan GES net de l'écosystème sylvo-pastoral au Sénégal est sensible à ce facteur de séquestration. Pour le Sénégal, un chiffre moyen de 0,2 tC/ha/an a été retenu. En hypothèse basse (facteur de séquestration de 0,1 tC/ha/an) le bilan GES net de l'écosystème sylvo-pastoral serait positif de 0,27 t eq.CO<sub>2</sub>/ha/an. Des références supplémentaires sont donc nécessaires pour réduire l'incertitude liée à ce paramètre. Le sol est en soit un écosystème encore plus vaste que le rumen des animaux dont il faudrait à l'avenir mieux décrire la dynamique sur le temps long. La capacité de séquestration du C du sol sur parcours dépend des conditions climatiques (Hunt *et al.*, 2004; Ciais *et al.*, 2005; Gilmanov *et al.*, 2007; Soussana *et al.*, 2010). Elle dépend également d'un ensemble de pratiques de gestion, telles que les rythmes de mise en feu (Suyker and Verma, 2001, Lesschen *et al.*, 2013) et de déplacements des troupeaux qui conditionnent la charge animale et la pression de prélèvement exercée par les ruminants (Ammann *et al.*, 2007). En systèmes pastoraux, ces deux pratiques sont fortement variables dans le temps et l'espace, elles sont en interaction forte avec le cortège floristique et le recouvrement végétal, deux éléments essentiels de la dynamique du C dans le sol.

La principale limite de cette étude est qu'elle se focalise sur une année donnée sans évaluer la variabilité intra et inter-annuelle du bilan GES. En effet, les fortes variations intra-annuelles du disponible fourrager conditionne le déplacement des animaux à l'intérieur de l'aire de desserte du forage et la transhumance d'une partie du cheptel du forage en dehors du territoire considéré en période de pénurie fourragère. Cette variation du disponible fourrager occasionne également une variabilité saisonnière du régime alimentaire des animaux et des émissions de méthane résultantes. Or cette étude propose une taille de cheptel moyen et un facteur d'émission de CH<sub>4</sub> moyen par catégorie d'animaux (selon un régime alimentaire moyen). Ces variations sont également observées d'une année à l'autre du fait d'une pluviométrie annuelle particulièrement variable (422.6±126.8 mm/an ; [Ndiaye et al., 2014](#)). La capacité de charge et de production de l'écosystème est donc variable et conditionne très probablement son bilan GES annuel.

## CONCLUSION

Mener des études précises sur les systèmes d'élevage en zones tropicales permet de montrer que derrière les chiffres moyens régionaux proposés par la FAO se cache une variété de systèmes ayant des impacts variables. Par exemple, les bilans GES brut par kg de produit obtenus dans cette étude sont plus élevés de 3 à 10 % que les résultats régionaux proposés par la FAO pour l'Afrique Sub-saharienne (selon l'espèce et le type de produit). En effet les systèmes d'élevage pastoraux sont particulièrement peu productifs et ils valorisent des ressources fourragères hautement méthanogènes.

Il est également intéressant de réaliser des bilans GES à l'échelle de l'écosystème intégrant une compréhension de son fonctionnement grâce à une quantification des principaux stocks/flux de carbone et azote. Dans notre étude de cas, l'importance des ruminants dans le bilan GES est confirmé, leurs émissions entériques ainsi que les émissions liées à la déposition de leurs déjections représentent 74 % des émissions totales de GES. Cependant d'autres sources sont également importantes telles que le feu et les termites (environ 20% des émissions à eux deux). Et cette étude confirme la possibilité d'une compensation des émissions par la séquestration du C dans le sol et la végétation en zones tropicales sèches. Un bilan GES à l'échelle de l'écosystème facilite donc la mise en évidence de voies de mitigation potentielles.

Cependant, les chiffres proposés dans cette étude restent des moyennes annuelles ne tenant pas compte de la forte variabilité intra et interannuelle des pluies et du disponible en ressources fourragères. Or elle sous-entend de fortes variations de la capacité de charge et de la productivité des troupeaux, ce qui se traduit très certainement par un bilan GES fortement variable selon les saisons et les années. Par conséquent, cette étude doit être approfondie par un suivi

mensuel et pluriannuel des différents flux de carbone et d'azote dans l'écosystème.

*Nous tenons à remercier l'Union Européenne (projet KBBE Animal Change) et la Banque Islamique de Développement pour le financement de ce travail de recherche.*

**ADEME, 2010. Guide des facteurs d'émission. 56 p.**

**Ammann C. M., Joos F., Schimel D., et al., 2007.** Acad. Sci. U. S. A., 104, 3713–3718.

**Ciais P., Reichstein M., Viovy N., et al., 2005.** Nature 437, 529–533.

**Corniaux C., Alary V., Gautier D., Duteurtre G., 2012.** Autrepart, 62, 2012, 17-36.

**FAO, CIRAD, 2012.** Rapport FAO. 36 p.

**FAO, 2013.** An Gen Res, 53, 184 p.

**FAO, 1997.** Forestry paper, 153, 101 p.

**Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson B., et al., 2013.** FAO, Rome.

**Garnier-Laplace J., Roussel-Debet S., Calmon P., 2001.** Rapport IRSN/DPRE/SERE.

**Gilmanov T., Soussana J. F., Aires L., et al., 2007.** Agric. Ecosyst. Environ 121, 93–120.

**Ndiaye O., Diallo A., Wood S. A., Guisse A., 2014.** Am J of Plant Sci, 5, 416-426

**Herrero M., Gerber P., Vellinga T., et al., 2011.** Anim Feed Sci Technol 166 - 167, 779 - 782.

**Herrero M., Havlík P., Valin H., et al., 2013.** PNAS Early Edition. 6 pages.

**Hunt J. E., Kelliher F. M., McSeveny T. M., Ross D.J., Whitehead D., 2004.** Glob Change Biol 10, 1785–1800.

**IPCC, 1997.** Reference manual, Volume 3, Geneva.

**IPCC. 2006.** Guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 4, Japan, IGES.

**Janzen H. H., 2011.** Anim Feed Sci Technol. 166 - 167, 783 - 796.

**Jamali H., Livesley S.J., Dawes T.Z., et al., 2011.** Agric. For. Meteorol. 151, 1471–1479.

**Koppmann R., von Czapiewsk K., Reid J.S., 2005.** Atmos. Chem. Phys. Discuss., 5, 10455–10516.

**Lesschen J. P., Staritsky I., Oenema O., Kuikman P., 2013.** Animal Change E-Newsletter.

**McAlpine C. A., Etter A., Fearnside P. M., et al., 2009.** Glob. Environ. Change. 19, 21–33.

**Ripple J. W., Smith P., Haberl H., Montzka S. A., McAlpine C., Boucher D. H., 2014.** Nat. Clim. Chang., 4, 2-5.

**Robert M., 2002.** Rapport sur les ressources en sols du monde FAO, 76p.

**Soussana J. M., Loiseau P., Vuichard N., et al., 2004.** Soil Use Manage. 20, 219-230.

**Soussana J. F., Tallec T., Blanfort V., 2010.** Animal. 4:3, 334–350.

**Traoré S., Lepage M., 2008.** Insect. Soc. 55, 183-189.

**Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., et al., 2006.** LEAD/FAO, Rome.

**Suyker A. E., Verma S. B., 2001.** Glob Change Biol. 7, 279–289.

**Woomer P.L., Touré A., Sall M., 2004.** J Arid Environ 59, 499–5