

Emissions de Gaz à Effet de Serre des Systèmes Agro-Sylvopastoraux et Sylvopastoraux de deux Zones Agroécologiques du Bénin

Célestin Cokou Hessa
Yaya Idrissou
Alassan Seidou Assani
Hilaire Sorébou Sanni Worogo
Ibrahim Alkoiret Traoré

Laboratoire d'Ecologie, Santé et Production Animales (LESPA),
Faculté d'Agronomie (FA), Université de Parakou, Parakou, Bénin

[Doi: 10.19044/esipreprint.8.2023.p448](https://doi.org/10.19044/esipreprint.8.2023.p448)

Approved: 24 August 2023

Posted: 28 August 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Hessa C.C., Idrissou Y., Assani A.S., Worogo H.S.S. & Traoré I.A. (2023). *Emissions de Gaz à Effet de Serre des Systèmes Agro-Sylvopastoraux et Sylvopastoraux de deux Zones Agroécologiques du Bénin*. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.8.2023.p448>

Resume

Au Bénin, une typologie de quatre groupes d'éleveurs a été établie sur la base des deux pratiques agroforestières (agrosylvopastoralisme et sylvopastoralisme) en lien avec l'adaptation au changement climatique. Il s'agit des : petits agrosylvopasteurs (Groupe 1 : PAS), des petits sylvopasteurs (Groupe 2 : PSV), des grands sylvopasteurs (Groupe 3 : GSV), et enfin des grands agrosylvopasteurs (Groupe 4 : GAS). Les effets de ces pratiques sur la productivité du bétail ont été évalués et connus. Cependant, des informations sur les effets de ces pratiques sur l'émission de gaz à effet de serre (GES) font défauts. Ainsi, la présente étude permet de combler cette lacune. Pour l'atteinte de cet objectif, 180 éleveurs ont été enquêtés. Des données sur l'alimentation animale, la gestion du fumier et la composition des troupeaux ont été collectées, et l'outil GLEAM-i (Global Livestock Environmental Assessment Model interactive) de la FAO a été utilisé pour estimer les émissions de GES au sein de chaque type d'élevage. Les résultats ont révélé que les émissions de GES de tous les types d'élevage bovin étaient de 34,24 Gg CO₂-eq/an dont les élevages GAS, GSV, PSV et PAS

contribuaient respectivement pour 37,57 % ; 35,89% ; 13,87% et 12,67%. Dans tous les types d'élevage, le CH₄ issu de la fermentation entérique était le principal contributeur aux émissions de GES. Les intensités d'émission du lait et de la viande étaient plus faibles dans les élevages GAS (60,21 kg CO₂/kg de protéines du lait ; 178,68 kg CO₂/kg de protéines de la viande) et PAS (61,61 kg de CO₂/kg de protéines du lait ; 180,61 kg CO₂/kg de protéines de la viande). Cette étude servira d'outil d'appui à l'élaboration de lignes directrices pour les systèmes de production animale à faibles émissions au Bénin et ailleurs en Afrique subsaharienne.

Mots-clés: Changement climatique, agroforesterie, émissions de gaz à effet de serre, atténuation, GLEAM-i

Greenhouse Gas Emissions from Agro-silvopastoral and Silvopastoral Systems in Two Agro-ecological Zones of Benin

Célestin Cokou Hessa
Yaya Idrissou
Alassan Seidou Assani
Hilaire Sorébou Sanni Worogo
Ibrahim Alkoiret Traoré

Laboratoire d'Ecologie, Santé et Production Animales (LESPA),
Faculté d'Agronomie (FA), Université de Parakou, Parakou, Bénin

Abstract

In Benin, a typology of four groups of herders was established on the basis of two agroforestry practices (agrosilvopastoralism and silvopastoralism) related to adaptation to climate change. These are: small agro-silvopastoral (Group 1: PAS), small silvopastoral (Group 2: PSV), large silvopastoral (Group 3: GSV), and finally large agro-silvopastors (Group 4: GAS). The effects of these practices on livestock productivity have been assessed and known. However, information on the effects of these practices on greenhouse gas (GHG) emissions is lacking. Thus, the present study fills this gap. To achieve this objective, 180 farmers were surveyed. Data on animal feed, manure management, and herd composition were collected, and the Global Livestock Environmental Assessment Model interactive (GLEAM-i) tool was used to estimate GHG emissions within each farming type. The results revealed that the GHG emissions of all cattle farming types were 34.24 Gg CO₂-eq/year, of which GAS, GSV, PAS, and PSV breeding contributed respectively for 37.57 %; 35.89%; 13.87% and 12.67%. In all farming types, CH₄ from enteric fermentation was the main contributor to

GHG emissions. The emission intensities of milk and meat were lower in GAS (60,21 kg CO₂/kg milk protein; 178.68 kg CO₂/kg meat protein) and PAS (61.61 kg CO₂/kg milk protein; 180.61 kg CO₂/kg meat protein). This study will serve as a support tool for the development of guidelines for low-emission animal production systems in Benin and elsewhere in sub-Saharan Africa.

Keywords: Climate change, agroforestry, greenhouse gas emission; mitigation, GLEAM-i

1. Introduction

Le réchauffement climatique de notre planète est désormais sans équivoque. Ces 60 dernières années de nombreux éléments en témoignent (IPCC, 2015). Les incidences d'évènements climatiques extrêmes survenus récemment soulignent la grande vulnérabilité et le degré élevé d'exposition des écosystèmes et des sociétés humaines aux variations du climat (Assouma et al., 2017). Par ailleurs, ces changements climatiques laissent craindre des perturbations importantes pour les sociétés dans leurs relations avec leur environnement, et risquent même de menacer les services écosystémiques dont elles bénéficient directement ou indirectement (IPCC 2015).

Le secteur de l'élevage contribue pour environ 12,9 % des calories mondiales et 27,9 % des protéines. Il contribue également à la production agricole grâce à la fourniture de transport et de fumier (FAO, 2013). L'élevage occupe environ 30 % de la superficie terrestre totale du monde et contribue aux moyens de subsistance des personnes les plus pauvres dans les zones rurales pauvres. Dans le même temps, ce secteur contribue à environ 18 % des émissions de GES dans le monde (Montagnini et al., 2013). À l'échelle mondiale, le secteur de l'élevage représente 9 % des émissions anthropiques de dioxyde de carbone (CO₂), principalement dues aux changements d'utilisation des terres, en particulier la déforestation et l'expansion des pâturages et des terres arables pour les cultures fourragères. L'élevage est également responsable d'émissions d'autres gaz à fort potentiel de réchauffement de l'atmosphère : le secteur émet 37 % de méthane anthropique, qui a 23 fois le potentiel de réchauffement global du CO₂, et il émet également 65 % de protoxyde d'azote anthropique. (N₂O) qui a 296 fois le potentiel de réchauffement global du CO₂ (Montagnini et al 2013). Les systèmes de production bovine doivent équilibrer les compromis entre l'utilisation des ressources, les émissions de GES et le maintien et l'amélioration des moyens de subsistance humains (Steinfeld, 2006). Conscients de cette situation, les éleveurs ont développé plusieurs pratiques agrosylvopastorales. Hessa et al (2023) ont distingué au Bénin, quatre types d'éleveurs en fonction de ces pratiques. Il s'agit des : petits

agrosylvopasteurs (Groupe 1 : PAS), des petits sylvopasteurs (Groupe 2 : PSV), des grands sylvopasteurs (Groupe 3 : GSV), et enfin des grands agrosylvopasteurs (Groupe 4 : GAS). Une étude antérieure a permis d'évaluer la productivité du bétail dans ces différents types d'élevage. Bien que ces pratiques améliorent la productivité du bétail, leur effet sur les émissions de GES fait défaut. La communauté scientifique est unanime sur le fait qu'il ne sert à rien d'avoir une pratique qui améliore la productivité du bétail et qui contribue en même temps à la poursuite du réchauffement climatique à travers les fortes émissions de GES. C'est donc dans ce contexte que la présente étude vise à évaluer le potentiel d'atténuation du changement climatique des quatre types d'élevages identifiés par Hessa et al (2023) dans deux zones agroécologiques du Bénin. Ceci permettra d'identifier et de vulgariser les pratiques qui améliorent à la fois la productivité du bétail et qui contribue à l'atténuation du changement climatique. Les résultats de cette étude pourraient donc constituer un référentiel local sur l'adaptation et l'atténuation de l'émission des GES des systèmes d'élevage des pays du Sud et une contribution à la lutte mondiale contre le réchauffement climatique.

2. Matériel et méthodes

2.1. Milieu d'étude

La présente étude a été réalisée dans deux des huit zones agroécologiques que compte le Bénin (situé entre 6° et 12° 50' N et 1° et 3° 40' E). Il s'agit : de la zone cotonnière du nord Bénin (ZCNB) et de la zone cotonnière du centre Bénin (ZCCB). Le choix de ces zones repose sur le fait qu'elles sont les zones dans lesquelles l'ont renontre les élevages agrosylvopastoraux et sylvopastoraux (Alkoiret et al., 2011).

Dans chaque zone, trois (3) communes ont été choisies sur la base du nombre d'agrosylvopasteurs et sylvopasteurs et d'entretiens préliminaires avec les techniciens des Agences Territoriales pour le Développement Agricole (ATDA). Ainsi, les communes de Banikoara, Kandi et Gogounou ont été retenues dans la ZCNB et ceux de Bantè, Savè et Djidja dans la ZCCB. Au sein de chaque commune, deux (2) villages ont été retenus, ce qui donne un total de 12 villages pour l'ensemble de l'étude.

2.2. Echantillonnage

Ce travail a été réalisé sur le même échantillon (180 éleveurs bovins) que celui utilisé par Hessa et al (2023) au Bénin. Cet auteur a caractérisé 180 élevages bovins de deux zones agroécologiques (ZCNB et ZCCB) du Bénin en fonction de deux pratiques : le sylvopastoralisme et l'agrosylvopastoraux. Ces résultats ont permis d'identifier quatre (4) types d'élevage bovin selon leur pratique :

- Type 1 : Petits agrosylvopasteurs (PAS). Ces types d'éleveurs étaient majoritairement rencontrés dans la ZCCB et constitué de 35,55% des enquêtés, soit 64 éleveurs. Les PAS intègrent tous l'élevage aux cultures et aux arbres/arbustes. La superficie occupée par les arbres et arbustes était très petite (0,5 ha) comparée à celle occupée par les cultures (3 ha). La taille du cheptel bovin de ce type était en moyenne de 23 têtes. Durant la saison des pluies, ces animaux sont alimentés à l'aide du pâturage naturels et pendant la saison des pluies ils bénéficient en dehors du pâturage naturels des résidus de récolte, des ligneux fourragers et quelques sous-produits agro-industriels.
- Type 2 : Petits sylvopasteurs (PSV). Tous comme les petits agrosylvopasteurs, les petits sylvopasteurs étaient majoritairement rencontrés dans la ZCCB. Ils représentaient 4,45% des enquêtés, soit 8 éleveurs. Ils intègrent les animaux aux arbres et/ ou arbustes. La superficie occupée par les arbres/arbustes était de 2 ha contre 1 ha occupés par les cultures. Cette superficie occupée par les cultures dans ce type d'élevage est la plus faible des superficies occupées par les cultures dans les quatre types. La taille du cheptel bovin de ce groupe est de 25 têtes. Durant la saison des pluies, les animaux de ce type d'élevage sont nourris par les parcours naturels. Durant la saison sèche, ils sont nourris non seulement à l'aide des parcours naturels mais aussi des ligneux fourragers et des sous-produits agro-industriels.
- Type 3 : Grands sylvopasteurs (GSV). Les éleveurs de ce type sont majoritairement localisés dans la ZCNB et représentent 5% de l'échantillon, soit 9 personnes. Dans ce type, les terres agricoles sont principalement acquises par héritage (87,85%). Sur ces terres, la majorité des enquêtés intègrent l'élevage aux arbres/arbustes, contre une minorité qui associe à ces deux éléments les cultures. La superficie allouée à ces cultures est en moyenne de 2 ha. La superficie occupée par les arbres/arbustes (5 ha) dans ce groupe est supérieure à celle des cultures. La taille du cheptel bovin dans ce groupe est en moyenne de 65 têtes. Les parcours naturels sont utilisés pour alimenter les animaux tout au long de l'année. Durant la saison sèche, les animaux bénéficient des résidus de culture et des ligneux fourragers.
- Type 4 : Grands agrosylvopasteurs (GAS). Les éleveurs de ce type étaient majoritairement localisés dans la ZCNB et représente 55% de l'échantillon, soit 99 personnes. Tous les éleveurs de ce type intègrent les animaux aux cultures et aux arbres/arbustes. La taille du cheptel bovins est en moyenne de 68 têtes. La superficie occupée par les cultures dans ce type était la plus élevée, soit en moyenne 8 ha. La superficie occupée par les arbres/arbustes était en moyenne de 3 ha. Durant la saison des pluies, l'alimentation des animaux est principalement constituée des

parcours naturels, alors que durant la saison sèche, ils reçoivent en compléments du pâturage naturels des résidus de récolte et des ligneux fourragers.

2.3. Collecte des données

Les données ont été recueillies lors d'entretiens individuels semi-directifs auprès des éleveurs à l'aide d'un questionnaire. Les données collectées comprenaient : i) types de pratique parmi les quatre options (PAS, PSV, GAS, GSV) ; ii) production bovine : destination des bovins (viande, lait, autres), race bovine, nombre de bovins, composition du troupeau, âge au premier vêlage, période de lactation, production laitière, fertilité, taux de remplacement des reproducteurs, des mesures de la circonférence cardiaque ont été prises pour un animal de chaque sous-catégorie présente dans chaque ferme (ces mesures ont été converties en estimations de poids vif à l'aide des équations baryométriques); iii) alimentation animale : source et type d'aliment; iv) et enfin la gestion du fumier.

Toutes ces données ont été introduites dans Global Livestock Environment Assessment Model interactive (GLEAM-i) version 2.0 (FAO, 2017) pour estimer les émissions de GES de chaque type d'élevage.

2.4. Description de Global Livestock Environment Assessment Model interactive (GLEAM-i)

GLEAM-i est un programme Excel basé sur le Web développé par la FAO pour estimer les émissions de gaz à effets de serre résultant de la production des principaux produits d'élevage (Gerber et al., 2013). GLEAM-i est construit sur cinq modules : module troupeau, module alimentation, module fumier, module système et module allocation. Les trois premiers modules sont des modules d'entrée pour le système et des modules d'allocation pour quantifier la production, les émissions totales et les intensités d'émission. Les entrées du module troupeau sont l'âge à la première parturition, le taux de mortalité (animal jeune et adulte), le taux de fertilité des femelles adultes, le poids des bovins, le nombre de bovins (mâles et femelles adultes reproducteurs), le taux de remplacement des femelles adultes, la production laitière et la teneur en matières grasses du lait. Les entrées du module d'alimentation sont les proportions des différents aliments (fourrages, concentrés etc...) utilisés pour nourrir les animaux. Enfin, les inputs du module fumier tiennent compte des proportions des pratiques de gestion du fumier prédominantes (digesteur anaérobie, brûlé comme combustible, compostage, épandage quotidien, stockage solide etc...) dans chaque type d'élevage.

2.5. Analyse statistique

Les données collectées ont été saisies dans le logiciel GLEAM-i version 2.0 (FAO 2017) pour estimer les émissions de GES des différents types d'élevage. Pour chaque type d'élevage, les données ont été saisies séparément dans le logiciel. Les résultats de GLEAM-i ont été exportés vers une feuille Excel pour des statistiques descriptives.

3. Résultats

3.1. Emission globale de GES par type d'élevage

Le Tableau 1 présente l'émission totale de GES des différents types d'élevage ainsi que la proportion de chaque gaz émis. De façon générale 34,24 Gg de CO₂-eq/an de GES ont été émis par l'ensemble des élevages enquêtés. Le CH₄, le CO₂ et NO₂ ont contribué respectivement à 65,49%, 0,76% et 33,75% à cette émission totale.

Les élevages GAS ont été responsable d'une forte émission de GES (soit 37,57% de l'émission totale) suivi respectivement des élevages GSV, PAS et PSV dont les émissions ont été respectivement 35,89%, 13,87% et 12,67% de l'émission totale.

Tableau 1. Emission de GES des différents types d'élevages

Paramètres	Total	Types d'élevages			
		PAS	PSV	GSV	GAS
Total émissions GES (Gg CO ₂ -eq/an)	34,24	4,34	4,75	12,29	12,86
Total émissions GES (%)	100	12,67	13,87	35,89	37,57
CH ₄ (%)	65,49	68,4	67,3	66,56	67,45
CO ₂ (%)	0,76	0,55	1,70	0,34	0,30
N ₂ O (%)	33,75	31,05	31,00	33,10	32,25

PAS : petits agrosylvopasteurs ; PSV : Petits sylvopasteurs ; GSV: grands sylvopasteurs ; GAS : grands agrosylvopasteurs

3.2. Source d'émission de GES dans chaque type d'élevage

Les principales sources d'émissions de GES dans tous les types d'élevage étaient le CH₄ provenant de la fermentation entérique et du fumier, le N₂O provenant de la production des aliments et de la gestion du fumier, le CO₂ provenant de la production des aliments pour les animaux (production, transport et transformation, et changement d'affectation des terres) et CO₂ provenant de l'utilisation directe et indirecte de l'énergie (Figure 1).

Dans tous les types d'élevage, le CH₄ issu de la fermentation entérique était le plus élevé (61 à 63%). Le CO₂ provenant de l'utilisation directe et indirecte d'énergie et de la production d'aliments pour animaux

était le plus faible (0,29 à 1,1 %). Parmi les quatre types d'élevage, les exploitations de type PSV émettaient plus de CO₂.

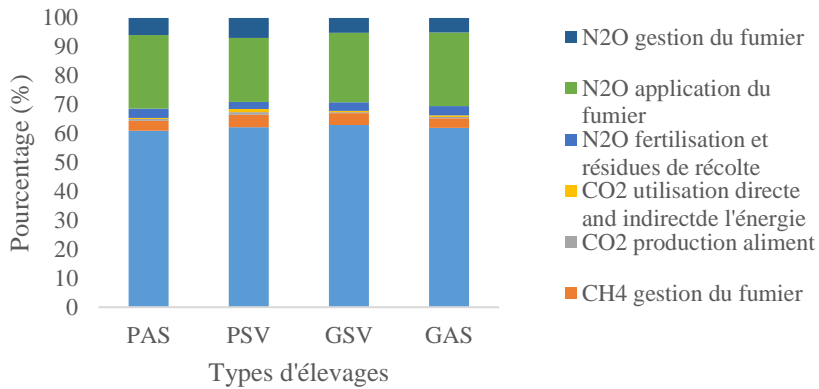


Figure 1. Source d'émission de GES dans les différents types élevages.

PAS : *petits agrosylvopasteurs* ; PSV : *Petits sylvopasteurs*; GSV: *grands sylvopasteurs* ; GAS : *grands agrosylvopasteurs*

3.3. Intensités d'émission de GES

Les intensités des émissions de GES par unité de lait des élevages GAS (60,21 kg de CO₂/kg de protéine) et PAS (61,61 kg de CO₂/kg de protéines) étaient les plus faibles comparées aux élevages PSV et GSV. Cette tendance a été la même en ce qui la production de la viande (Figure 2).

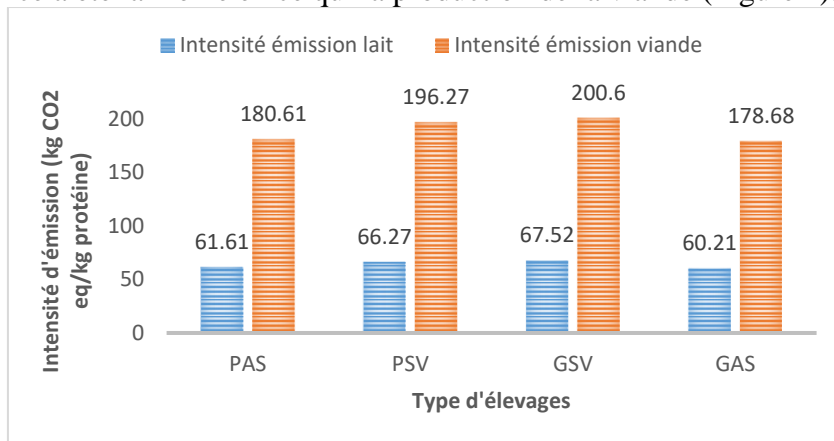


Figure 2. Intensité d'émissions de GES (kg CO₂ eq/kg protéine) par type d'élevage.

PAS : *petits agrosylvopasteurs* ; PSV : *Petits sylvopasteurs*; GSV: *grands sylvopasteurs* ; GAS : *grands agrosylvopasteurs*

4. Discussion

Les résultats de la présente étude ont révélé que parmi les quatre types d'élevages, les élevages du type GAS émettaient plus de GES suivi des élevages du type GSV. Ce résultat pourrait s'expliquer par la variation des

caractéristiques de chaque type d'élevage. Ces caractéristiques sont le nombre de bovins, la race, le niveau de production, l'âge des animaux, le type de ressource alimentaire utilisée, le poids vif des animaux, la quantité d'aliment disponible pour les animaux, la température ambiante, la quantité de fumier produit et le système de gestion du fumier (Berhe et al., 2020). Dans tous les types d'élevage, le CH₄ a été le GES le plus émis suivi du N₂O. Des résultats similaires ont été rapportés par Idrissou et al. (2023). En effet, dans de nombreux systèmes d'élevage étudiés, l'alimentation animale est dominée par des fourrages de mauvaise qualité, nécessitant un temps de rétention plus long dans le rumen, créant ainsi une quantité relativement plus importante de CH₄ entérique (Korir et al., 2022). Une grande quantité de fourrage dans l'alimentation des ruminants est responsable d'une forte émission de CH₄. Ainsi, pour réduire la forte émission de CH₄, le fourrage grossier doit être remplacé par des aliments de meilleure qualité qui améliorent la digestibilité et réduisent le temps de rétention dans le rumen (Opio et al., 2013). L'émission élevée de N₂O dans cette étude pourrait être un indicateur d'une mauvaise gestion du fumier dans les élevages de cette étude. La faible émission de CO₂ dans cette étude est due à la faible utilisation d'intrants externes tels que les combustibles fossiles pour la production et la transformation des aliments pour animaux, l'utilisation de concentrés comme ressources alimentaires, l'utilisation de la fertilisation pour la production d'aliments pour animaux et le transport des intrants. L'émission globale de CO₂ dans cette étude était inférieure à celle rapportée par Berhe et al (2020). La différence entre nos résultats et ceux de ces auteurs pourrait s'expliquer par la différence des intrants tels que les concentrés alimentaires utilisés dans chaque étude.

Les intensités d'émission du lait et de la viande provenant des élevages GAS et PAS étaient inférieures aux intensités d'émission de ces produits provenant des élevages PSV et GSV. En effet, l'amélioration des pratiques de gestion telles que l'alimentation (utilisant de plus de résidus de récolte) dans ces types d'élevage bovin a conduit à une amélioration de la productivité et, à son tour, à une réduction des émissions par unité de produit. Cela implique donc que l'amélioration de l'alimentation des élevages PSV et GSV contribuerait à une réduction de l'intensité d'émission de GES. Les intensités des émissions du lait et de la viande de chaque type d'élevage dans cette étude était supérieure à la valeur rapportée par Gerber et al (2013) dans les systèmes de production laitière industrialisés. Cela implique donc qu'il existe encore un potentiel de réduction de l'intensité des émissions de GES grâce à l'amélioration de la productivité animale.

Conclusion

Cette étude a révélé que les élevages GAS avait les émissions de GES les plus élevées, suivi des élevages GSV en raison de l'effet du plus grand nombre de bovins. Cependant, les intensités d'émissions du lait et de la viande étaient les plus faibles dans les élevages GAS et PAS. Ces résultats impliquent qu'il existe un potentiel de réduction des intensités des émissions de GES à travers l'utilisation des résidus de cultures.

Nombreux sont les éleveurs qui tirent déjà profit de l'utilisation des résidus de cultures dans leurs exploitations. C'est donc une voie toute tracée pour les pays d'Afrique de l'Ouest de participer efficacement à la lutte contre le changement climatique tout en maintenant le cap de l'accroissement des productions animales pour satisfaire les besoins de plus en plus croissants de nos populations en produits animaux (lait, viande).

Remerciements

Nous remercions tous les chefs d'exploitations d'avoir accepté participer à cette enquête.

Conflits d'intérêt

Ce Manuscrit n'est objet d'aucun conflit d'intérêt de quelque nature que ce soit et n'est objet d'aucune soumission autre que sur ce journal. Le contenu est en concordance avec les politiques de la ESJ.

References:

1. Alkoiret, T. I., Radji, M., & Babatoundé, S. (2011). Typologie des élevages bovins installés dans la commune de Ouaké au nord-ouest du Bénin. *Livestock Research for Rural Development*, 23(3).
2. Assouma, M. H., Serça, D., Guérin, F., Blanfort, V., Lecomte, P., Touré, I., Ickowicz, A., Manlay, R. J., Bernoux, M., & Vayssières, J. (2017). Livestock induces strong spatial heterogeneity of soil CO₂, N₂O and CH₄ emissions within a semi-arid sylvo-pastoral landscape in West Africa. *Journal of Arid Land*, 9, 210-221.
3. Berhe, A., Bariagabre, S. A., & Balehegn, M. (2020). Estimation of greenhouse gas emissions from three livestock production systems in Ethiopia. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 12(5), 669-685.
4. FAO. (2013). *FAO Statistical Yearbook 2013: World food and agriculture*, éd. FAO, Rome, 289 p.
5. FAO. (2017). " *Global livestock environmental assessment model – interactive – a tool for estimating livestock production, greenhouse gas emissions and assessing intervention scenarios* ", Version 2.0, available at : www.fao.org/ fi

- leadadmin/user_upload/gleam/docs/GLEAM_2.0_Model_description.pdf*. Version.
6. Gerber, P. J., Henderson, B., & Makkar, H. P. (2013). *Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production: A review of technical options for non-CO2 emissions*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
 7. Idrissou, Y. (2021). *Stratégies d'adaptation des éleveurs de bovins des zones tropicales sèche et subhumide du Bénin dans le contexte du changement climatique. Thèse de doctorat, Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau, Université de Parakou, Bénin. 206 p.*
 8. Idrissou, Y., Vall, E., Assouma, M., Lecomte, P., & Alkoiret, I. T. (2023). *Estimation of Greenhouse gas emissions from cattle farming in the dry and sub-humid tropical zones of Benin*. In: Leal Filho, Gustavo J. Nagy and Desalegn Yayeh Ayal (eds) *Handbook of Nature-Based Solutions to Mitigation and Adaptation to Climate Change*. Springer Nature.
 9. IPCC. (2015). *Climate change 2014: Mitigation of climate change* (Vol. 3). Cambridge University Press.
 10. Korir, D., Eckard, R., Goopy, J., Arndt, C., Merbold, L., & Marquardt, S. (2022). Effects of replacing *Brachiaria* hay with either *Desmodium intortum* or dairy concentrate on animal performance and enteric methane emissions of low-yielding dairy cows. *Frontiers in Animal Science*, 96.
 11. Montagnini, F., Ibrahim, M., & Murgueitio, E. (2013). Silvopastoral systems and climate change mitigation in Latin America. *Bois et forêts des tropiques*, 316(2), 3-16.
 12. Opio, C., Gerber, P., Mottet, A., Falcucci, A., Tempio, G., MacLeod, M., Vellinga, T., Henderson, B., & Steinfeld, H. (2013). *Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains—A global life cycle assessment*. Food and agriculture organization of the United Nations.
 13. Steinfeld, H. (2006). *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. Food & Agriculture Org.