

Le sylvopastoralisme et l'agrosylvopastoralisme pour aider à faire face au changement climatique en Afrique de l'Ouest

Célestin C. HESSA¹, Cham Donald A. ALABI^{1,2}, Alassan S. ASSANI^{1,2}, Hilaire S. S. WOROGO^{1,2}, Maximilien AZALOU¹, Christophe IWAKA¹, Ibrahim T. ALKOIRET¹

¹Laboratoire d'Écologie, Santé & Production Animales (LESPA), Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Benin

²Institut de Recherche en Science et Technique pour le Développement Durable (IRSTED), Parakou, Benin

Courriel : celcokhessa@gmail.com

■ L'élevage contribue au réchauffement climatique à travers les émissions de gaz à effet de serre. Le renforcement des interactions entre l'élevage, les cultures et les arbres dans les systèmes agrosylvopastoraux des zones de savanes et côtières d'Afrique de l'Ouest pourrait constituer un élément clé dans l'adaptation et la lutte contre le changement climatique.

Introduction

L'élevage joue un rôle central dans l'économie des pays ouest-africains avec une contribution au produit intérieur brut agricole allant parfois jusqu'à 44 % (Kamuanga *et al.*, 2008). Avec plus de 76 millions de têtes de bovins et 279 millions de petits ruminants, 564 millions de volailles (FAOSTAT, 2019), l'Afrique de l'Ouest s'illustre comme une région d'élevage par excellence. L'élevage constitue également une des principales activités économiques dont sont tributaires les populations relativement pauvres en tant que source d'aliments et de revenus. Il constitue aussi la principale assurance contre les risques pour des millions de populations pauvres dont les moyens d'existence reposent sur l'agriculture pluviale (Kamuanga *et al.*, 2008).

L'élevage est aujourd'hui menacé par le changement climatique (Deressa *et al.*, 2009 ; IUCN, 2010) à cause de sa forte dépendance aux ressources naturelles, qui fournissent du fourrage et de l'eau

(Seo & Mendelsohn, 2008 ; IUCN, 2010) et dont les disponibilités sont fonction du climat. La variabilité et les températures élevées entraînent une diminution des rendements des productions animales (FAO, 2016). Il ressort des données climatiques que l'Afrique de l'Ouest connaît un réchauffement climatique plus rapide que la moyenne mondiale (Apata, 2011). En effet, depuis les années 1970, les températures ont augmenté de 1 à 3 °C et les précipitations sont de moins en moins prévisibles. Lacetera (2019) affirme aussi qu'en plus de réduire la qualité et la disponibilité des herbages, le changement climatique, notamment en raison des périodes très chaudes, contribue à une diminution du bien-être animal entraînant une diminution de la production animale. Il s'ensuit une diminution des revenus des agriculteurs. En effet, l'augmentation de la chaleur cause un stress chez les animaux agissant sur leur ingestion alimentaire, ce qui provoque la diminution des productions, notamment de lait (Nardone *et al.*, 2010 ; Bazin *et al.*, 2013). Le stress thermique affecte également la reproduction, en réduisant

la longueur et l'intensité des chaleurs, mais aussi la fertilité et la survie de l'embryon (Wolfenson *et al.*, 2000 ; De Renis & Scaramuzzi, 2003 ; King *et al.*, 2006 ; Hansen, 2007 ; Nardone *et al.*, 2010). Il affecte également la qualité du sperme chez les taureaux (Karaca *et al.*, 2002 ; Kunavongkrit *et al.*, 2005). Les variations extrêmes de chaleur créent régulièrement une augmentation de la mortalité des animaux dans les troupeaux (Hertel, 2009). Toutefois, la vulnérabilité des animaux au stress thermique varie selon les espèces (Collier *et al.*, 2017), leur potentiel génétique d'adaptation à la chaleur, leur âge et leur état nutritionnel (Bazin *et al.*, 2013). En outre, les maladies à transmission vectorielle pourraient s'étendre par : *i*) l'expansion des populations de vecteurs dans des zones précédemment plus froides (Togo, Nigeria...) ou plus tempérées et *ii*) des changements dans la configuration des précipitations pendant les années humides, qui pourraient également entraîner une augmentation des populations de vecteurs et des épidémies à grande échelle (Patz *et al.*, 2000 ; Calvosa

et al., 2010). Les impacts du changement climatique sur la santé animale risquent d'être d'autant plus importants qu'ils viendront rompre brusquement l'équilibre existant entre les races élevées et les maladies auxquelles elles sont soumises (Bazin *et al.*, 2013).

Le secteur de l'élevage contribue aussi au changement climatique par ses émissions de gaz à effet de serre (GES) directes et indirectes, notamment du fait des émissions de méthane entérique des ruminants, du logement des animaux, du stockage du fumier, de l'épandage des engrains organiques sur le sol (Monteny *et al.*, 2001 ; Casey *et al.*, 2006). Les principaux gaz à effet de serre issus de l'élevage sont le méthane (CH_4), le protoxyde d'azote (N_2O) et le dioxyde de carbone (CO_2). Les émissions directes d'origine animale proviennent de la fermentation entérique, de la respiration, et des excréptions (Jungbluth *et al.*, 2001). Les émissions indirectes désignent les émissions provenant des cultures fourragères, de la production et de l'épandage de fumier, de la fabrication des aliments pour bétail, des équipements des élevages, de la synthèse des intrants (engrais minéraux ou concentrés), des travaux agricoles (émission d'oxyde nitreux après épandage d'engrais organique ou non, décomposition des résidus culturels), de la transformation des produits animaux, du transport et de l'affection des terres à la production animale (IPCC, 1997 ; Mosier *et al.*, 1997). Dans le secteur de l'élevage, les émissions indirectes jouent un rôle plus important dans la libération de dioxyde de carbone dans l'atmosphère que les émissions directes (Steinfeld *et al.*, 2006). Le secteur de l'élevage est responsable d'environ 14,5 % des émissions anthropiques totales de gaz à effet de serre (Gerber *et al.*, 2013). En Afrique de l'Ouest, la place dominante de l'agriculture parmi les sources d'émissions (près de 40 %) déclasse par ailleurs l'importance du dioxyde de carbone, au profit d'autres gaz à effet de serre fortement émis par le secteur. Ainsi, le méthane et le protoxyde d'azote représentent à eux seuls 75 % des émissions de GES en Afrique de l'Ouest, contre 25 % au niveau mondial (Jancicot *et al.*, 2015).

Le défi aujourd'hui consiste donc à maintenir l'élevage en l'Afrique de

l'Ouest dans un contexte de changement climatique (Wright *et al.*, 2012) à la fois en termes d'adaptation au changement climatique, mais aussi en termes de réduction de ses contributions à ce changement.

Les systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux sont de véritables solutions pour relever ce défi (da Silveira Pontes *et al.*, 2018). Pour Sarr *et al.*, 2013, les systèmes agrosylvopastoraux et sylvopastoraux sont certes complexes compte tenu de l'intégration de différentes combinaisons de ressources alimentaires comme les cultures, les prairies et les arbres et aussi de plusieurs services écosystémiques, mais en même temps ils constituent des stratégies d'adaptations de la production animale face au changement climatique, spécialement par la diversification des sources d'alimentation et aussi l'amélioration du bien-être animal (Pulina *et al.*, 2021). Le sylvopastoralisme et l'agrosylvopastoralisme sont deux types de systèmes agroforestiers (Amonum *et al.*, 2009). Selon le Centre international pour la recherche en agroforesterie (ICRAF) créé en 1982, devenu aujourd'hui *World Agroforestry Center*, « l'agroforesterie désigne l'ensemble des systèmes et des techniques d'utilisation des terres où des plantes ligneuses vivaces sont délibérément associées aux cultures ou à la production animale sous forme d'un arrangement spatial ou d'une séquence temporelle prenant place sur une même unité de gestion de la terre. Les systèmes agroforestiers sont caractérisés par des interactions écologiques et économiques entre leurs diverses composantes » (ICRAF, 1982). En Afrique de l'Ouest, il y a au moins trois grandes régions climatiques, du Nord au Sud : le Sahel où dominent les systèmes pastoraux, les savanes où dominent les systèmes agrosylvopastoraux, et les régions côtières où l'on trouve peu d'élevage et des systèmes sylvopastoraux sous plantation d'arbres.

Le sylvopastoralisme est aussi défini comme un système qui intègre des espèces d'arbres ou des forêts indigènes gérées dans des systèmes agricoles permettant la production d'arbres et de bétail à partir d'une même unité de terre (Peri *et al.*, 2016). Les systèmes sylvopastoraux sont circonscrits en Afrique de

l'Ouest aux régions côtières. Ceci aboutit à une série d'interactions écologiques qui optimisent les différences économiques entre les arbres et les autres composantes du système (Broom *et al.*, 2013 ; Casanova-Lugo *et al.*, 2014). Le sylvopastoralisme pur est rare en Afrique de l'Ouest. Il existe cependant une variété de pratiques sylvopastorales. On distingue le système sylvopastoral traditionnel et le système amélioré ou intensif (Altieri *et al.*, 2015). Les systèmes sylvopastoraux forment des classes variées de pratiques de production incluant les éléments de culture en allée, les brise-vent, les arbres épars sur pâturage, et une gestion intensive et rotationnelle de pâture. Le sylvopastoralisme combine gestion forestière, gestion des pâturages et production animale (Walter, 2011).

Les « systèmes sylvopastoraux » se présentent donc comme des unités gérées de trois composantes principales dans un contexte édaphoclimatique particulier : *i*) les arbres, *ii*) les pâturages et *iii*) les animaux (MosqueraLosada *et al.*, 2001). Lorsque les cultures comme quatrième composante sont également présentes, le système peut être qualifié de « agrosylvopastoral ». En effet, l'agrosylvopastoralisme se réfère à un système simultané de production végétale et animale sur une même unité de terre visant d'une part, l'exploitation de la terre par la pratique des cultures, de l'agroforesterie et l'élevage des animaux et, d'autre part, la protection et la restitution à la terre de ses éléments nutritifs par la plantation des arbres et la pratique de l'élevage (Souza *et al.*, 2019). C'est donc un système de production de bétail qui intègre la gestion d'arbres ou arbustes avec des cultures fourragères et des animaux. Ce sont les systèmes très répandus en zone de savane, dans une frange du Sahel et dans les zones plus humides en Afrique de l'Ouest. Néanmoins, les systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux sont peu étudiés en Afrique de l'Ouest et les données les concernant ne sont pas récentes (Sabiiti & Cobbina, 1992 ; Lamers *et al.*, 1994).

Cet article présente d'abord une synthèse sur la diversité des systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux en Afrique de l'Ouest, puis leurs contributions à l'adaptation et à l'atténuation du changement climatique. Il passe ensuite

en revue les travaux sur les contributions de ces systèmes à l'amélioration de la productivité des animaux et à la sécurité alimentaire des ménages.

1. Méthodologie : sélection et analyses des documents

La sélection des articles pour cette synthèse s'est basée sur la langue de publication (anglaise ou française) ainsi que le sujet de recherche. Aucune limite n'a été imposée en ce qui concerne la date de publication des articles.

La recherche bibliographique a été menée sur internet entre décembre 2021 et juillet 2023 dans trois bases bibliographiques : « *Google Scholar* », « *Scopus* » et « *Web of Science* », qui selon Shah & Mahmood (2017) constituent les meilleures bases pour trouver des articles de qualité jugés par les pairs. La combinaison des mots-clés suivants a été utilisée : « changement climatique, stratégie d'adaptation, système d'élevage, système sylvopastoral, système agrosylvopastoral, Afrique de l'Ouest ». Ces mots-clés ont été utilisés d'abord en français puis traduits en anglais : « *climate change, adaptation strategy, livestock farming system, silvo-pastoral system, agro-forestry system, West Africa* », afin d'obtenir un maximum de documents. Les articles n'ont été retenus que si dans leurs titres, résumés ou chapeau (s'ils en avaient), on retrouvait un ou plusieurs des mots-clés sus-cités.

Le titre, les faits saillants de la recherche (lorsqu'ils étaient disponibles), le résumé et les mots-clés des différents documents obtenus ont été lus de manière à vérifier si les termes « élevage » et « changement climatique » y figuraient ou si le changement climatique était traité d'une autre manière dans l'article.

Une grille d'analyse a été élaborée pour recenser les articles sélectionnés et documenter le processus d'examen. Les axes d'analyse ont porté sur les différents systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux rencontrés en Afrique de l'Ouest, la contribution de ces systèmes d'élevage à l'adaptation et l'atténuation du changement climatique, ainsi qu'à

l'amélioration de la productivité des animaux et de la sécurité alimentaire des ménages. Seuls les articles dont le texte intégral était disponible ont été considérés. Sur les 182 articles trouvés, 72 articles n'ont pas été retenus parce que les études ne répondaient pas aux critères établis. Les données des 110 articles restants ont été extraites puis ont subi une analyse approfondie. Il est à rappeler que dans cette liste finale, certains documents concernaient spécifiquement l'Afrique de l'Ouest et ont permis de documenter la réalité des systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux, puis d'autres documents ont permis de présenter les principes généraux pouvant être appliqués en Afrique de l'Ouest suite à des adaptations.

2. Résultats

■ 2.1. Diversité des systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux en Afrique de l'Ouest

Les systèmes sylvopastoraux sont une variante assez rare des systèmes agrosylvopastoraux en Afrique de l'Ouest. Plusieurs types de systèmes sylvopastoraux dans les zones côtières et de savanes sont très répandus dans les paysages

agricoles de l'Afrique de l'Ouest. Dans les systèmes sylvopastoraux intensifs des zones des savanes, comprenant des banques de fourrages avec des espèces ligneuses plantées à haute densité, les rendements sont supérieurs à l'élevage conventionnel, en raison d'une plus grande densité de bétail et du gain de poids plus élevé des animaux (Knox *et al.*, 2012). En général, les pratiques d'intégration bétail-arbres figurent dans les principaux systèmes intégrés sylvopastoraux améliorés ou intensifs décrits par Fernández-Rivera *et al.* (2004) en Afrique de l'Ouest. Il s'agit des systèmes d'élevage intégrant des cocotiers, des palmiers à huile et des arbres fruitiers ou du cacao, du plantain et du manioc. Ils peuvent fournir des quantités considérables de biomasse fourragère pour les animaux.

Au Sud-Bénin, chez les petits éleveurs de bovins de la race lagunaire, une intégration bétail-arbres se pratique en attachant les animaux dans les plantations de palmiers à huile. Par le pâturage de nettoyage, les animaux diminuent les coûts d'entretien de la plantation. Ils fertilisent le sol cultivé et constituent une source de revenu pour les producteurs (Ahozonlin & Dossa, 2020). Pour Assani *et al.* (2023), dans les systèmes sylvopastoraux améliorés du Nord-Bénin (figure 1), certains

Figure 1. Amélioration sylvopastorale de *Khaya senegalensis* et plantes fourragères (*Pennisetum purpureum*, *Panicum maximum*, *Brachiara ruziziensis*) dans les zones arides du Bénin. (Assani *et al.*, 2023).



Figure 2. Système sylvopastoral traditionnel sur les parcours des zones arides du Bénin (Assani et al., 2023).



éleveurs utilisent des arbres indigènes (*Khaya senegalensis*, *Afzelia Africana* et *Pterocarpus erinaceus*) comme compléments alimentaires pour les bovins laitiers dans les parcours naturels au cours de la saison sèche (figure 2). Ces auteurs révèlent aussi que les agriculteurs adoptant les systèmes agrosylvopastoraux dans les zones de savane, utilisent du fourrage d'arbres ou d'arbustes indigènes (*Cajanus cajan*, *Acacia auriculiformis*, *Leucaena leucocephala*, *Stylosanthes guianensis*, *Mucuna*

pruriens) et des résidus de récolte (maïs, tiges, paille de riz, paille de sorgho et fanes de niébé) comme compléments alimentaires pour les bovins laitiers pendant la saison sèche (figure 3).

Au Sahel, dans les parcs agroforestiers on trouve principalement un système agrosylvopastoral. Dans ce système, le parc agroforestier joue un rôle socio-économique (il fournit d'énormes biens et services écosystémiques à la population locale et constitue une source de

Figure 3. Système agrosylvopastoral combinant élevage de zébu, les arbres (*Khaya senegalensis*) et une plantation de maïs au Nord-Bénin (Assani et al., 2023).



revenus et un moyen efficace de lutte contre la pauvreté). Ces parcs agroforestiers sont des systèmes agricoles combinant des arbres, des cultures et l'élevage pour réduire la vulnérabilité aux risques du changement climatique (Igbatayo et al., 2022). Ces parcs sont dominés par quelques espèces favorisées telles que *Faidherbia albida*, *Parkia biglobosa*, et *Vitellaria paradoxa* (Bayala et al., 2011). Le nombre d'espèces d'arbres dans le Sahel varie de 20 à 110 (Bayala et al., 2011). La densité des arbres est variable et est typiquement en dessous de 20 plants à l'hectare (Bayala et al., 2011). Les animaux se nourrissent des résidus de récolte, des feuilles, fruits et goussettes des arbres et contribuent au recyclage des nutriments par leurs déjections.

Au Nigeria, il existe en général trois types d'intégration bétail-arbres décrits parmi les systèmes agroforestiers (Amonum et al., 2009). Il s'agit des systèmes d'agriculture en allées (« *alley farming* »), des systèmes brise-vent (« *shelterbelts* ») et des systèmes jardins domestiques (« *home garden* »).

i) Les systèmes d'agriculture en « allées » sont des systèmes où des rangs d'arbres, arbustes et autres plantes vivaces alternent avec des rangs de cultures. Ils sont axés sur la production animale et sont conçus principalement pour le pâturage des ovins et caprins domestiques. La fourniture de résidus de récoltes et la protection du sol contre l'érosion sont les avantages de ce système.

ii) Les systèmes « brise-vent » sont des systèmes caractérisés par l'entretien de cultures vivrières entre des rangées d'arbres plantés en ceinture comme rempart. Les arbres et arbustes sont plantés en une ou plusieurs rangées perpendiculairement à la direction du vent dominant. Ainsi ils réduisent chez les animaux le stress dû au vent et à la chaleur.

iii) Les systèmes de « jardins domestiques » consistent en un assemblage de plantes pouvant inclure des arbres, des arbustes, de la vigne et des herbacées. Des arbres et arbustes polyvalents tels que *Cola acuminata*, *Garcinia kola*, *Irvingia gabonensis*, *Pterocarpus soyauxii* et *Treculia africana* (Nair, 1985) sont plantés en association multiétage avec

des cultures et servent au petit bétail de la ferme.

Les systèmes d'élevage intégrant les plantations de palmiers à huile dans les pays côtiers d'Afrique de l'Ouest sont nés, selon Gaullier (1990), par l'utilisation d'animaux pour entretenir les plantations en exploitant rationnellement les couverts herbacés qui se développent sous les palmeraies. Selon Gaullier (1990), ces systèmes présentent des limites. Dans les palmeraies industrielles les interventions de l'homme visant à optimiser le rendement des palmiers perturbent la régénération du couvert végétal et donc la biomasse disponible en quantité et en qualité pour les animaux. De plus, la production de biomasse herbacée est diminuée par l'ombrage total. Dans les zones humides, il est nécessaire d'utiliser des races d'animaux trypanotolérantes c'est-à-dire qu'elles sont relativement moins affectées par une infestation trypanosomienne.

■ 2.2. Contribution des systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux à l'adaptation et à l'atténuation des effets du changement climatique

Le sylvopastoralisme et l'agrosylvopastoralisme présentent de multiples avantages écologiques et socioéconomiques (Balandier, 2002). Du point de vue de l'atténuation des effets du changement climatique, les arbres contribuent à la stabilisation des sols érodés et la restauration de leur fertilité, notamment avec des espèces ligneuses fixatrices d'azote (*Acacia* sp., *Mimosa* sp., *Gliricidia sepium*...). Quant à l'aspect d'adaptation au changement climatique, ils améliorent la production de fourrage pendant les périodes sèches, ils offrent de l'ombrage, et la présence d'arbres limite l'évapotranspiration du couvert herbacé. Un autre avantage est que les éleveurs peuvent diversifier leurs sources de revenus, les ligneux en association avec l'élevage produisant du fourrage, des fruits, des légumes, du bois d'œuvre, de la cellulose, etc. Enfin, ils contribuent à la replantation de vastes zones défrichées et à restaurer les terres dégradées.

Par ailleurs, le sylvopastoralisme et l'agrosylvopastoralisme favorisent l'adaptation au changement climatique en fournissant une ressource fourragère aux animaux et en régulant la température de l'air. Le bien-être et la productivité (lait et viande) des animaux s'en trouvent améliorés (Montagnini *et al.*, 2013).

Ainsi, au Bénin, dans les systèmes agrosylvopastoraux, les éleveurs traditionnels de bovins utilisent les racines, feuilles, écorces, fruits et graines des ligneux fourrager (*Houehanou* *et al.*, 2008) les plus prisés (*Khaya senegalensis*, *Afzelia africana* et *Pterocarpus erinaceus*) pour stimuler la production de lait chez les vaches (Salifou *et al.*, 2017). *Afzelia*, par exemple, joue un rôle crucial dans l'alimentation des herbivores surtout pendant la saison sèche dans les zones semi-arides d'Afrique occidentale. Son exploitation se fait par émondage et l'arbre était surexploité au nord du Cameroun dans les systèmes agrosylvopastoraux (Onana & Devineau, 2002). Sa teneur en protéines et vitamines fait de lui la principale ressource fourragère pour le bétail en saison sèche, pour satisfaire les besoins d'entretien et de production des animaux (Sidi Imorou *et al.*, 2016). Des espèces de ligneux fourrager comme *D. oliveri*, *Kigelia africana*, *Lonchocarpus sericeus*, *Mitragyna inermis*, *Pterocarpus santalinoides* et *Vitex doniana* sont très appréciées par les bovins et ont un grand intérêt pastoral dans la zone d'accueil des transhumants dans la basse et moyenne vallée de l'Ouémé au Bénin (Honvou *et al.*, 2018).

Au Sahel, *Faidherbia albida* (poussant sur des champs cultivés), une légumineuse très nutritive à phénologie inversée est utilisée dans les systèmes pastoraux pendant la transhumance. *Pterocarpus erinaceus* peut constituer un fourrage d'appoint comme dans le programme de gestion durable du territoire agrosylvopastoral de Néthéboulou au Sénégal (Mbaye *et al.*, 2003). La teneur en matières azotées totales de ses feuilles peut atteindre 15 à 20 % de la matière sèche. Selon Archimède *et al.* (2011), les feuilles de ligneux ont quatre caractéristiques importantes dans l'alimentation des ruminants : *i*) une biomasse de qualité et de digestibilité

élevée ; *ii*) un apport de nutriments pour assurer la croissance microbienne du rumen et améliorer la digestion de la biomasse cellulosique quand les rations sont déséquilibrées ; *iii*) une source de protéines digérées dans l'intestin et *iv*) une source de vitamines et de minéraux afin de corriger les carences de la ration de base. Certains ligneux pourraient réduire la production de méthane dans le rumen du fait de leur teneur en certains composés secondaires (Tiemann *et al.*, 2008).

Au nord du Burkina aussi, le *Ficus thonningii* constitue une base du sylvopastoralisme développé pour s'adapter au changement climatique, l'espèce étant utilisée pour sa tolérance à la sécheresse, mais aussi pour sa valeur d'encombrement, sa productivité et sa valeur ethno-médicinale (Balehegn *et al.*, 2017).

Un autre exemple de la contribution des arbres fourrager à la résilience des systèmes d'élevage est le cas de l'utilisation du *Piliostigma reticulatum* au Sahel sénégalais et au Burkina pour éviter les pénuries alimentaires (Cissé *et al.*, 2002).

La productivité des animaux qui dépend du bien-être de ceux-ci, est améliorée dans les systèmes agrosylvopastoraux lorsqu'ils offrent un confort thermique aux animaux, ce qui est le cas dans les systèmes agrosylvopastoraux d'*Eucalyptus* utilisés au Niger (Oumarou, 2004). En effet, Ngom (2014) indique que le stress thermique est moindre dans ce cas et la production fourragère est meilleure comparativement aux systèmes de pâturage conventionnel (sans arbres).

■ 2.3. Contribution des systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux à l'amélioration de la productivité du bétail

La production de biomasse fourragère est plus stable au cours de l'année dans les systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux que dans les systèmes de pâturages conventionnels (sans arbres). Ils produisent des fourrages plus diversifiés à travers des couverts herbacés spontanés, des fourrages et ligneux émondés, etc.

Tableau 1. Production journalière de lait de vache en fonction des types de systèmes d'élevage en Afrique de l'Ouest.

Types de systèmes	Production journalière de lait par vache	Types génétiques	Auteurs
Sylvopastoraux traditionnels	0,8 l en 1997	Zébu Gobra	Diop <i>et al.</i> (2009) (Sénégal)
	1 l en 2000		Assani <i>et al.</i> (2015)
Sylvopastoraux améliorés	4,7 kg	Zébu Goudali	(Bénin)
	1,7 kg en 2000	Zébu Azawak	Oumarou (2004) (Niger)
	1,8 kg en 2001		Yapi-Gnaoré <i>et al.</i> (2009) (Côte d'Ivoire)
Agrosylvopastoraux avec <i>Leucaena leucocephala</i>	4 l	Taurin N'Dama	
	4,1 kg	Zébu Maure	Murgueitio <i>et al.</i> (2011) (Afrique tropicale)
	3,5 kg	Zébu Maure	Murgueitio <i>et al.</i> (2011) (Afrique tropicale)
Agrosylvopastoraux avec <i>Cynodon plectostachyus</i>	6,7 l	Zébu Azawak	Ouédraogo (2013) (Niger)

Cette diversité de ressources permet un meilleur affouragement des troupeaux et par conséquent un meilleur gain moyen quotidien (GMQ) des animaux (Assani *et al.*, 2023). En effet, l'usage de fourrages herbacés et de feuilles fraîches de ligneux avec un apport supplémentaire d'énergie constitué de graines de coton, de son de riz et de fanes de niébé, permet de produire du lait riche en matière grasse chez des vaches (Coulibaly *et al.*, 2007). En outre, les pâturages dégradés caractérisés par une couverture herbacée de moins de 50 % ont permis de maintenir la production de lait en fin de saison dans ce milieu (Coulibaly *et al.*, 2007).

L'association des cultures fourragères avec certains ligneux fourragers permet de produire un mélange de fourrage de meilleure qualité. En Tanzanie, par exemple, la production fourragère associant le *Leucaena leucocephala* et le *Cynodon plectostachyus* permet d'avoir une augmentation de la biomasse de 29 %, de la teneur en protéine brute de 64 % et de la teneur en énergie métabolisable de 23 % comparée à une production fourragère du *Cynodon plectostachyus* en culture pure (Mangesho *et al.*, 2017). La production de lait était de 4,1 kg/vache lorsque ces

vaches sont nourries avec l'association du *Leucaena leucocephala* et *Cynodon plectostachyus* tandis qu'elle n'est que de 3,5 kg/vache lorsqu'elles sont nourries avec le *Cynodon plectostachyus* uniquement (Murgueitio *et al.*, 2011). Le tableau 1 résume quelques résultats de production journalière de lait par vache en fonction du type de système utilisé.

Au Sénégal et au Burkina Faso, les systèmes sylvopastoraux traditionnels utilisant le *Piliostigma reticulatum* permettent de maintenir la productivité des animaux pendant les périodes de soudure (Cissé *et al.*, 2002). Selon Murgueitio *et al.* (2011) le taux de mortalité est faible et l'intervalle entre vêlages est réduit à 12,8 mois chez les vaches dans ces systèmes sylvopastoraux.

■ 2.4. Contribution des systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux à la sécurité alimentaire des ménages et aux services écosystémiques

Selon Paris *et al.* (2019), en dehors de leurs importances économique et environnementale, les systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux peuvent également contribuer à la

préservation des paysages traditionnels ainsi qu'à l'autonomie alimentaire. De nombreuses études (Ngom *et al.*, 2014 ; Nyberg *et al.*, 2020) soutiennent que les systèmes agrosylvopastoraux fournissent des services écosystémiques de façon stable et durable à travers la productivité du bétail, la séquestration de carbone et le maintien de la biodiversité. Ainsi, Diédhio *et al.* (2014) et Badiane *et al.* (2019) au Sénégal notent que dans des parcs assez riches en biodiversité, il existe dans certaines palmeraies une longue liste d'espèces accompagnatrices de *Elaeis guinensis*.

L'exploitation des espèces forestières dans les systèmes agrosylvopastoraux, contribue fortement à améliorer les conditions de subsistance de la population locale surtout dans le domaine de l'alimentation, du bien-être social et de l'économie (Goudiaby, 2013 ; Gomis 2014 ; Sagna, 2016).

La contribution des systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux à la sécurité alimentaire et nutritionnelle est tributaire de leurs effets améliorateurs sur la productivité des animaux (tableau 1 pour la production laitière). Ces systèmes peuvent permettre une production annuelle de viande qui varie de 67,5 kg à

821,3 kg de poids vif par hectare (Broom *et al.*, 2013). En effet, les systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux sont une forme durable d'agroforesterie pour la production animale qui combine des arbustes fourragers plantés à haute densité d'arbres et de palmiers et améliore les pâturages. Dans ces systèmes, un cheptel élevé et une production naturelle de lait et de viande sont obtenus grâce au pâturage en rotation et à un approvisionnement permanent en eau pour le bétail. Au Mali, un système agrosylvopastoral de quatre niveaux composé d'une couche d'herbes, d'arbustes de *Leucaena*, d'arbres de taille moyenne et d'un couvert de grands arbres a permis, au cours des cinq dernières années, d'augmenter le taux de chargement à 2,1 vaches laitières par hectare et une production laitière de 88 %, et d'éliminer presque complètement l'utilisation d'engrais chimiques. Malgré une réduction de 25 % de la biomasse pastorale, la production fourragère des arbres et arbustes est restée constante tout au long de l'année, neutralisant les effets négatifs de la sécheresse sur l'ensemble du système.

Au Niger, en dépit des sécheresses de 2009 ayant entraîné une baisse de 40 % de la pluviométrie, les systèmes pastoraux ont permis de maintenir la production laitière des vaches et l'ont augmenté de 10 % comparativement aux quatre dernières années (Altieri *et al.*, 2015). Ce résultat a pu être obtenu lorsqu'en réponse adaptative aux sécheresses, les éleveurs ont diminué le nombre de bovins par zone de pâture et ont offert un complément alimentaire aux animaux. De plus, les systèmes sylvopastoraux intensifs avec un étage supérieur d'arbustes et d'arbres peuvent être résilients au choc climatique, permettant une disponibilité continue de fourrage pour les vaches qui maintiennent des niveaux de production laitière stables malgré de faibles précipitations.

Le *Mucuna pruriens* (une légumineuse et une plante grimpante) utilisé pour l'alimentation des animaux dans certains systèmes agrosylvopastoraux avec arbres fourragers, permet selon Heuzé *et al.* (2015) de produire jusqu'à trois tonnes de graines du *Mucuna pruriens* en culture pure et près de cinq

tonnes de matière sèche à l'hectare. Il est à noter aussi que les déjections des animaux dans ces systèmes permettent d'améliorer et de cultiver des terres incultes comme le cas des zaï renais- sant au Mali et au Burkina (Altieri *et al.*, 2015). Les zaï sont des petites cavités que creusent les agriculteurs dans le sol avec une profondeur de 10 à 15 cm et un diamètre de 20 à 30 cm, et sont remplies de matière organique (Zougmoré *et al.*, 2004). La matière organique en plus de l'eau qui y est ajoutée attire les termites qui, en la décomposant, améliorent la structure du sol et permettent à l'eau de s'infiltrer et d'être retenue dans le sol (Altieri *et al.*, 2015).

Les avantages combinés d'un microclimat favorable, de la biodiversité et des stocks de carbone dans les systèmes agricoles diversifiés décrits ci-dessus, fournissent non seulement des biens et services environnementaux aux producteurs, mais également une plus grande résilience au changement climatique.

■ 2.5. Perspectives pour des systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux intégrés résilients au changement climatique

Dans les pays côtiers tout comme dans les pays sahéliens ouest-africains, on retrouve des zones de savanes où dominent les systèmes agrosylvopastoraux. Dans ces zones, l'élevage s'adapte aux contraintes du milieu pour maintenir et améliorer les productions (Sounon Kon'De Lafia Sika *et al.*, 2019).

En effet, l'Afrique de l'Ouest connaît actuellement des changements climatiques rapides, qui revêtent la forme d'un réchauffement généralisé et d'une hausse des températures moyennes et extrêmes au Sahel, dans les zones côtières et les savanes (Fontaine *et al.*, 2013 ; Russo *et al.*, 2016). Ce réchauffement observé est attribué au changement climatique d'origine humaine, qui a provoqué un réchauffement d'environ 1 °C en Afrique de l'Ouest (Sultan *et al.*, 2019). Si l'incidence de l'activité anthropique sur l'évolution des précipitations annuelles qui a été constatée fait toujours débat, plusieurs études ont attribué

la fréquence accrue des fortes pluies au réchauffement planétaire (Taylor *et al.*, 2017 ; Sultan *et al.*, 2019). Même si l'ampleur des effets projetés est incertaine, plusieurs études récentes ont estimé que la hausse de la variabilité des précipitations aussi bien que celle des températures au-dessus d'un certain seuil, réduira probablement le rendement moyen des cultures et augmentera la variabilité interannuelle de la production dans plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest où règne déjà l'insécurité alimentaire (Sultan *et al.*, 2014 ; Sultan & Gaetani, 2016). En revanche, le consensus est faible quant au sens et à l'ampleur des changements potentiels en termes de précipitations.

L'avenir de la production de bétail dans les systèmes de gestion des terres sèches dépend de la conception et de la promotion de systèmes résilients au climat comme les systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux (Balehegn, 2017). Selon Murgueitio *et al.* (2011), l'association bétail-arbres et cultures dans ces systèmes permettra de résoudre les problèmes d'alimentation.

La séquestration du carbone par exemple dans la végétation et les sols peut être améliorée tandis que les émissions de gaz à effet de serre peuvent diminuer avec le pâturage contrôlé, des espèces fourragères appropriées, ainsi que le type de système (sylvopastoral ou agrosylvopastoral) combinant arbres, arbustes et pâturages. Les recherches menées en zone côtière d'Afrique de l'Ouest montrent que les systèmes sylvopastoraux ont plus de carbone dans la biomasse aérienne et dans les sols que dans les pâturages dégradés. De plus, dans les systèmes agrosylvopastoraux, le bois des arbres fruitiers, plantés ou de régénération naturelle, augmente les stocks de carbone et les taux de séquestration (Assani *et al.*, 2023). Il en résulte donc que les espèces arborées locales peuvent être utilisées dans les systèmes agrosylvopastoraux avec de bons résultats en termes de productivité, de restauration des sols, de séquestration du carbone et de conservation de la biodiversité. Par ailleurs, l'utilisation de systèmes sylvopastoraux contribue à la séquestration du carbone dans les arbres et dans les sols, tandis que l'établissement des

plantations forestières et la conservation des forêts secondaires augmentent la séquestration et le stockage du carbone à l'échelle du paysage.

D'un autre côté, la disponibilité de l'azote est souvent un facteur limitant en production agricole. Les systèmes sylvopastoraux augmentent souvent la production animale grâce à un apport alimentaire plus élevé en azote avec les herbacées, pour réguler le déficit accru dû à une faible dégradation des protéines dans le rumen. Ils permettent également, dans certaines conditions, un transfert d'azote vers les graminées qui les accompagnent et un recyclage de l'azote au sein du système, plus élevé par rapport au système traditionnel (Dalzell *et al.*, 2006). La majeure partie de l'azote qui est fixé par *Leucaena* retourne au sol et est utilisée par la végétation herbacée, augmentant ainsi la quantité et la qualité du fourrage, par rapport aux pâturages en monoculture où la disponibilité de l'azote est très limitée (Dalzell *et al.*, 2006).

En résumé, les mécanismes d'adaptation et d'atténuation du changement

climatique dans les systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux sont : *i)* le captage du CO₂, *ii)* la réduction de la production de méthane entérique, *iii)* l'amélioration de la fertilité des sols, *iii)* la promotion de bonnes pratiques de gestion pour la production bovine en réduisant et/ou en éliminant l'utilisation de produits chimiques tels que les pesticides, les insecticides et les anthelminthiques, *iv)* la réduction de la saisonnalité de la production végétale et animale rendant la production animale moins vulnérable au changement climatique, *v)* la contribution à la préservation des écosystèmes fragiles et à la restauration de la biodiversité, et *vi)* la réduction des coûts de production grâce à une utilisation accrue des ressources locales.

Conclusion

Cet article synthétise la littérature existante sur la contribution des systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux de l'Afrique de l'Ouest à l'atténuation et à l'adaptation au changement climatique. Cette synthèse

montre que ces systèmes permettent d'améliorer la productivité du bétail surtout en période de soudure à travers les ligneux fourragers. De plus, les arbres de ces systèmes peuvent être des sources de séquestration du carbone et d'amélioration de la fertilité du sol. Des mesures incitatives telles que le paiement des services environnementaux ainsi que l'assistance technique peuvent stimuler l'adoption des systèmes agrosylvopastoraux contribuant ainsi à l'atténuation du changement climatique tout en préservant les moyens de subsistance en milieu rural.

Contribution des auteurs

Célestin C. HESSA, Hilaire S.S. WOROGO et Alassan S. ASSANI ont pris l'initiative de l'étude. Célestin C. HESSA, Cham Donald A. ALABI et Hilaire S.S. WOROGO ont procédé à la recherche documentaire et à la rédaction du manuscrit. Maximilien AZALOU, Christophe IWAKA et Ibrahim T. ALKOIRET ont supervisé la rédaction du manuscrit. Tous les auteurs ont lu et approuvé la version finale du manuscrit.

Références

- Ahozonlin, M. C., & Dossa, L. H. (2020). Diversity and resilience to socio-ecological changes of smallholder Lagune cattle farming systems of Benin. *Sustainability*, 12(18), 7616. <https://doi.org/10.3390/su12187616>
- Assani, S. A., Assogba, B., Toukourou, Y., & Alkoiret I. T. (2015). Productivity of Gudali cattle farms located in the commons of Malancity and Karimama extreme north of Benin. *Livestock Research for Rural Development*, 27(7), 1-9. <https://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd27/7/assa27127.html>
- Assani, S. A., Offoumon, O. T. L. F., Sanni Worogo, S. H., Houaga, I., Koara Yarou, A., Azalou, M., Adambi Boukari, F. Z., Idrissou, Y., Houinato, M. & Alkoiret Traoré, I. (2023). The effect of the silvopastoral system on milk production and reproductive performance of dairy cows and its contribution to adaptation to a changing climate in the drylands of Benin (West-Africa). *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1236581>
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for sustainable development*, 35(3), 869-890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- Amuron, J. I., Babalola, F. D., & Agera, S. (2009). Agroforestry systems in Nigeria : Review of concepts and practices. *Journal of Research in Forestry, Wildlife and Environment*, 1(1), 18-30. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:129818601>
- Apata, T. (2011). Factors influencing the perception and choice of adaptation measures to climate change among farmers in Nigeria: Evidence from farm households in Southwest Nigeria. *Environmental Economics*, 2(4), 74-83.
- Archimède, H., Bastianelli, D., Boval, M., Tran, G., & Sauvant, D. (2011). Ressources tropicales : disponibilité et valeur alimentaire. In J.-B. Coulon, P. Lecomte, M. Boval & J.-M. Perez (Coord.), *INRA Productions Animales* : Vol. 24(1) Numéro spécial : *Élevage en régions chaudes* (pp. 23-40). <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2011.24.1.3235>
- Badiane, M., Camara, B., Ngom, D., & Diedhiou, M. A. A. (2019). Perception communautaire des parcs agroforestiers traditionnels à *Faidherbia albida* (Del.) Chev. en Basse Casamance, Sénégal. *Afrique Science*, 15(1), 214-226. <https://www.afriquescience.net/admin/postpdfs/bd144451a7530ce5b-3217b7ee6f03481729460506.pdf>
- Balandier, P. (2002). Quels avantages du sylvo-pastoralisme pour restaurer les pâturages tropicaux dégradés ? *Bois et Forêts des Tropiques*, 272, 104-106. <https://revues.cirad.fr/index.php/BFT/article/view/20145>
- Balehgn, M. (2017). Silvopasture using indigenous fodder trees and shrubs: The underexploited synergy between climate change adaptation and mitigation in the livestock sector. In W. L. Filho, S. Belay, J. Kalangu, W. Menas, P. Munishi, & K. Musiyiwa (Eds.), *Climate change adaptation in Africa* (pp. 493-510). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-49520-0_30
- Bayala, J., Kindt, R., Belem, M., & Kalinganire, A. (2011). Factors affecting the dynamics of tree diversity in agroforestry parklands of cereal and cotton farming systems in Burkina Faso. *New Forests*, 41(3), 281-296. <https://doi.org/10.1007/s11056-010-9222-z>
- Bazin, F., Bechir, A. B., & Khamis, D. D. (2013). *Étude prospective : Systèmes d'élevage et changements climatiques au Tchad*. Rapport final. Paris, IRAM. http://www.plateforme-pastorale-tchad.org/classified/iRAM_pastoralisme_et_CC_au_Tchad_-_VF.pdf
- Broom, D. M., Galindo, F. A., & Murgueitio, E. (2013). Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences*, 280(1771), 20132025. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2025>
- Calvosa, C., Chuluunbaatar, D., & Fara, K. (2010). *Livestock and Climate Change. Livestock Thematic Papers*.

- Casanova-Lugo, F., Petit-Aldana, J., Solorio-Sánchez, F. J., Parsons, D., & Ramírez-Avilés, L. (2014). Forage yield and quality of *Leucaena leucocephala* and *Guazuma ulmifolia* in mixed and pure fodder banks systems in Yucatan, Mexico. *Agroforestry systems*, 88(1), 29-39. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9652-7>
- Casey, K. D., Bicudo, J. R., Schmidt, D. R., Singh, A., Gay, S. W., Gates, R. S., Jacobson, L. D., & Hoff, S. J. (2006). Air quality and emissions from livestock and poultry production/waste management systems. In J. M. Rice, D. F. Caldwell & F. J. Humenik (Eds.), *Animal Agriculture and the Environment: National Center for Manure and Animal Waste Management White Papers* (pp. 1-40). St. Joseph, Michigan: ASABE. Pub. <https://dr.lib.iastate.edu/handle/20.500.12876/1119>
- Cissé, M., Ly, I., Nianogo, A. J., Sane, I., Sawadogo, J. G., N'Diaye, M., Awad, C., & Fall, Y. (2002). Grazing behavior and milk yield of Senegalese Sahel goat. *Small Ruminant Research*, 43(1), 85-95. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(01\)00263-2](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(01)00263-2)
- Collier, R. J., Renquist, B. J., & Xiao, Y. (2017). A 100-Year Review: Stress physiology including heat stress. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10367-10380. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13676>
- Coulibaly, D., Moulin, C. H., Pocard-Chappuis, R., Morin, G., Sidibé, S. I. & Cormiaux, C. (2007). Évolution des stratégies d'alimentation des élevages bovins dans le bassin d'approvisionnement en lait de la ville de Sikasso au Mali. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 60(1-4), 103-111. <https://doi.org/10.19182/remvt.9961>
- Dalzell, S. A., Shelton, H. M., Mullen, B. F., Larsen, P. H., & McLaughlin, K. G. (2006). *Leucaena: a guide to establishment and management*. Sydney: Meat & Livestock Australia Ltd.
- da Silveira Pontes, L., Barro, R. S., Savian, J. V., Berndt, A., Moletta, J. L., Porfirio-da-Silva, V., Bayer, C., & de Faccio Carvalho, P. C. (2018). Performance and methane emissions by beef heifer grazing in temperate pastures and in integrated crop-livestock systems: The effect of shade and nitrogen fertilization. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 253, 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.009>
- De Rensis, F., & Scaramuzzi, R. J. (2003). Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—A review. *Theriogenology*, 60(6), 1139-1151. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(03\)00126-2](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00126-2)
- Deressa, T. T., Hassan, R. M., Ringler, C., Alemu, T., & Yesuf, M. (2009). Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia. *Global Environmental Change*, 19(2), 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.01.002>
- Diedhiou, M. A., Faye, E., Ngom, D. & Touré, M. A. (2014). Identification et caractérisation floristiques des parcs agroforestiers du terroir insulaire de Mar Fafaco, Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 79, 6855-6866. <https://doi.org/10.4314/jab.v79i0.11>
- Diop, A. T., Ickowicz, A., Diène, M., & Zimulinda, J. C. (2009). Production laitière dans la zone sylvopastorale du Sénégal : étude des facteurs de variation et modes de gestion par les populations locales. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 62(1), 39-47. <https://doi.org/10.19182/remvt.10092>
- FAO. (2016). *Climate-smart agriculture: source book*. <http://www.fao.org/3/i3325e/i3325e.pdf>
- FAOSTAT. (2019). *Cultures et produits animaux*. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QA>
- Fernández-Rivera, S., Okike, I., Manyong, V., Williams, T. O., Kruska, R. L., & Tarawali, S. A. (2004). Classification and description of the major farming systems incorporating ruminant livestock in West Africa. In T. O. Williams, S. A. Tarawali, P. Hiernaux, & S. Fernández Rivera (Eds.), *Sustainable crop-livestock production for improved livelihoods and natural resources management in West Africa*. <https://cgospace.cgiar.org/items/90eb5d9f-c234-4b77-8afc-52e02eeeb30>
- Fontaine, B., Janicot, S., & Monerie, P.-A. (2013). Recent changes in air temperature, heat waves occurrences, and atmospheric circulation in Northern Africa. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(5), 8536-8552. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jgrd.50667>
- Gaullier, P. (1990). Élevage bovin en plantation industrielle de palmiers à huile au Cameroun. I. Étude de la flore et mesure des biomasses. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 43(3), 401-408. <https://doi.org/10.19182/remvt.8826>
- Gerber, P. J., Henderson, B., & Makkar, H. P. (Eds.). (2013). *Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production: A review of technical options for non-CO₂ emissions*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://openknowledge.fao.org/items/563873c2-73ec-45b1-a71e-db53e21adb11>
- Hansen, P. J. (2007). Exploitation of genetic and physiological determinants of embryonic resistance to elevated temperature to improve embryonic survival in dairy cattle during heat stress. *Theriogenology*, 68, S242-S249. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.04.008>
- Heuzé, V., Tran, G., Hassoun, P., Renaudeau, D., & Bastianelli, D. (2015). Velvet bean (*Mucuna pruriens*). Retrieved from Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO <https://feedipedia.org/node/270>
- Gomis, Z. D. (2014). *Les parcs agroforestiers à Elaeis guineensis Jacq. (Palmier à huile) : Caractéristiques biophysiques et importance socio-économique à Ouonck (Basse-Casamance)* (Mémoire de Master 2). Université Assane de Ziguinchor.
- Goudiaby, M. (2013). *Les parcs agroforestiers en Basse-Casamance : Contribution du Parkia biglobosa (néré) à la réduction des risques de pauvreté des ménages de la communauté rurale de Mangoulack, au Sénégal* (Mémoire). Université de Laval.
- Hertel, S., Le Tertre, A., Jöckel, K. H., & Hoffmann, B. (2009). Quantification of the heat wave effect on cause-specific mortality in Essen, Germany. *European Journal of Epidemiology*, 24, 407-414. <https://doi.org/10.1007/s10654-009-9359-2>
- Honvou, S. H., Aboh, A. B., Teka, O., Gandonou, C. B., Oumorou, M., Mensah, G. A., & Sinsin, B. (2018). Composition floristique et potentiel fourrager des principaux ligneux des parcours d'accueil des transhumants dans la Basse et Moyenne Vallée de l'Ouémé en zone guinéo-soudanienne du Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 131, 13258-13270. <https://doi.org/10.4314/jab.v13i1.2>
- Houehanou, T. D., Houinato, M., Adandedjan, C., Gbangboche, A. B., Hounzangbe-Adote, M. S., & Sinsin, B. (2008). Gestion pastorale et structure des terroirs agricoles dans la périphérie de la Djona (Nord-Est Bénin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 2(4), 497-507. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v2i4.39777>
- ICRAF. (1982). *Draft Guidelines for agroforestry diagnosis and design*. ICRAF Working Paper No. 6, Nairobi.
- Igbatayo, S. A., Afolabi, B., Danladi, J. D., Awoyemi, B. O., & Babalola, O. O. (2022). Exploring disaster risk reduction strategies in the Sahel: A multicountry study of Burkina Faso, Chad, Mauritania, Niger, and Senegal. In S. Eslamian & F. Eslamian (Eds.), *Disaster Risk Reduction for Resilience* (pp. 333-359). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72196-1_13
- IPCC. (1997). *IPCC/OECD/IEA programme on national greenhouse gas inventories. Intergovernmental panel on climate change*. Meeting report of expert group meeting on methods for the assessment of inventory quality. <https://www.ipcc-nrgip.iges.or.jp/public/mtdocs/pdffiles/tdbusum.pdf>
- IUCN. (2010). *Building climate change resilience for African livestock in sub-Saharan Africa*. Nairobi: World Initiative for Sustainable Pastoralism, (WISP): A program of IUCN – The International Union for Conservation of Nature, Eastern and Southern Africa Regional Office.
- Janicot, S., Aubertin, C., Bernoux, M., Dounias, E., Guégan, J.-F., Lebel, T., Mazurek, H., Sultan, B., & Reinert, M., (2015). Les émissions de gaz à effet de serre. In S. Janicot, C. Aubertin, M. Bernoux, E. Dounias, J.-F. Guégan, T. Lebel, H. Mazurek, B. Sultan & M. Reinert (Coords.), *Changement climatique : quels défis pour le Sud ?* (pp. 75-81). Marseille : IRD Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.29392>
- Jungbluth, T., Hartung, E., & Brose, G. (2001). Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutrient cycling in Agroecosystems*, 60(1-3), 133-145. <https://doi.org/10.1023/A:1012621627268>
- Kamuanga, M. J. B., Somda, J., Sanon, Y., & Kagoné, H. (2008). *Élevage et marché régional au Sahel et en Afrique de l'Ouest : potentialités et défis*. Issy-les-Moulineaux : OCDE.
- Karaca, A. G., Parker, H. M., Yeatman, J. B., & McDaniel, C. D. (2002). Role of seminal plasma in heat stress infertility of broiler breeder males. *Poultry science*, 81(12), 1904-1909. <https://doi.org/10.1093/ps/81.12.1904>

- King, J. M., Parsons, D. J., Turnpenny, J. R., Nyangaga, J., Bakari, P., & Wathes, C. M. (2006). Modelling energy metabolism of Friesians in Kenya smallholdings shows how heat stress and energy deficit constrain milk yield and cow replacement rate. *Animal Science*, 82(5), 705-716. <https://doi.org/10.1079/ASC200689>
- Knox, J., Hess, T., Daccache, A., & Wheeler, T. (2012). Climate change impacts on crop productivity in Africa and South Asia. *Environmental Research Letters*, 7(3). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/034032>
- Kunavongkrit, A., Suriyasomboon, A., Lundeheim, N., Heard, T. W., & Einarsson, S. (2005). Management and sperm production of boars under differing environmental conditions. *Theriogenology*, 63(2), 657-667. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.09.039>
- Lacetera, N. (2019). Impact of climate change on animal health and welfare. *Animal Frontiers*, 9(1), 26-31. <https://doi.org/10.1093/af/vfy030>
- Lamers, J. P. A., Michels, K., & Vandenbeldt, R. J. (1994). Trees and windbreaks in the Sahel: Establishment, growth, nutritive, and calorific values. *Agroforestry systems*, 26(3), 171-184. <https://doi.org/10.1007/BF00711209>
- Mangesho, W.E., Kurwijila, L.R., & Shirima, D.D. (2017). Leguminous fodder trees as protein source and carbon sink in smallholder dairy production systems in Muheza District, Tanga Region, Tanzania. *Livestock Research for Rural Development*, 29, 186. <http://www.lrrd.org/lrrd29/10/wman29186.html>
- Mbaye, M., Sow, B., Ickowicz, A., & Lesueur, D. (2003). Gestion d'un système agro-sylvo-pastoral au Sénégal : L'exemple des terroirs agro-sylvo-pastoraux de la forêt communautaire de Néthéboulou (Tambacounda). In P. Dugué & P. Jouve (Coord.), *Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux*. Montpellier : UMR SAGERT.
- MosqueraLosada, M. R., RigueiroRodríguez, A., & VillarinoUrtiaga, J. J. (2001). *Establecimiento de sistemas silvopastorais*. Xunta de Galicia.
- Montagnini, F., Ibrahim, M., & Restrepo, E. M. (2013). Systèmes silvopastoraux et atténuation du changement climatique en Amérique latine. *Bois & Forêts des Tropiques*, 316, 3-16. <https://doi.org/10.19182/bft2013.316.a20528>
- Monteny, G. J., Groenestein, C. M., & Hilhorst, M. A. (2001). Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60(1-3), 123-132. <https://doi.org/10.1023/A:1012602911339>
- Mosier, A., Kroeze, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S., & van Cleemput, O. (1997). Closing the global atmospheric N₂O budget: Nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52, 225-248. <https://doi.org/10.1023/A:1009740530221>
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A., & Solorio, B. (2011). Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261(10), 1654-1663. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.09.027>
- Nair, P. R. (1985). Classification of agroforestry systems. *Agroforestry systems*, 3(2), 97-128. <https://doi.org/10.1007/BF00122638>
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., & Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130(1-3), 57-69. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>
- Ngom, D., Charahabil, M. M., Sarr, O., Bakhoum, A., & Akpo, L. E. (2014). Perceptions communautaires sur les services écosystémiques d'approvisionnement fournis par le peuplement ligneux de la réserve de Biosphère du Ferlo (Sénégal). *Vertigo*, 14(2). <https://id.erudit.org/iderudit/1034699ar>
- Nyberg, Y., Wetterlind, J., Jonsson, M., & Öborn, I. (2020). The role of trees and livestock in ecosystem service provision and farm priorities on smallholder farms in the Rift Valley, Kenya. *Agricultural Systems*, 181, 102815. <https://doi.org/10.1016/j.aggsy.2020.102815>
- Ouédraogo, A. (2013). *Étude des performances laitières des vaches zébus et de la croissance pondérale des veaux des noyaux de Ouagadougou et Komsilga* (Mémoire d'Ingénieur de Conception en Vulgarisation Agricole). Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina-Faso. <https://www.beep.ird.fr/greenstone/collect/upb/index/assoc/IDR-2013-OUE-ETU/IDR-2013-OUE-ETU.pdf>
- Oumarou, A., (2004). *Production laitière et croissance du zébu Azawak, en milieu réel : Suivi et évaluation technique à mi-parcours du projet d'appui à l'élevage des bovins de race Azawak en zone agro-pastorale au Niger* (Thèse de Doctorat en Médecine Vétérinaire). École inter-états des Sciences et Médecine Vétérinaires de Dakar, Université Cheik Hanta Diop de Dakar, Sénégal. <https://beep.ird.fr/greenstone/collect/eismv/index/assoc/TD04-2.dir/TD04-2.pdf>
- Onana, J., & Devineau, J.-L. (2002). *Afzelia africana* Smith ex Persoon dans le Nord-Cameroun. État actuel des peuplements et utilisation pastorale. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 55(1), 39-45. <https://doi.org/10.19182/remvt.9844>
- Paris, P., Camilli, F., Rosati, A., Mantino, A., Mezzalira, G., Dalla Valle, C., ... Burgess, P. J. (2019). What is the future for agroforestry in Italy? *Agroforestry Systems*, 93(6), 2243-2256. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00346-y>
- Patz, J. A., Graczyk, T. K., Geller, N., & Vittor, A. Y. (2000). Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. *International Journal for Parasitology*, 30(12-13), 1395-1405. [https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(00\)00141-7](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(00)00141-7)
- Peri, P. L., Dube, F., & Varella, A. C. (2016). Silvopastoral systems in the subtropical and temperate zones of South America: An overview. In P. Peri, F. Dube, & A. Varella (Eds), *Advances in Agroforestry: Vol. 11 Silvopastoral Systems in Southern South America* (pp. 1-8). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24109-8_1
- Pulina, G., Acciaro, M., Atzori, A. S., Battaccone, G., Crovetto, G. M., Mele, M., Pirlo, G., & Rassu, S. P. G. (2021). Animal board invited review – Beef for future: Technologies for a sustainable and profitable beef industry. *Animal*, 15(11), 100358. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100358>
- Sarr, O., Diatta, S., Gueye, M., Ndiaye, P. M., Guisse, A., & Akpo, L. E. (2013). Importance des ligneux fourrager dans un système agropastoral au Sénégal (Afrique de l'Ouest). *Revue de Médecine Vétérinaire*, 164, 2-8. <https://hal.science/hal-01722601v1>
- Russo, S., Marchese, A. F., Sillmann J. & Immé, G. (2016). When will unusual heat waves become normal in a warming Africa? *Environmental Research Letters*, 11(5), 054016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/5/054016>
- Sabiiti, E. N., & Cobbina, J. (1992). Initial agronomic evaluation of *Parkia biglobosa* in the humid zone of Nigeria. *Agroforestry systems*, 17(3), 271-279. <https://doi.org/10.1007/BF00054152>
- Sagna, B. (2016). *Paramètres structureaux, modes de gestion et importance socioéconomique des parcs agro-forestiers à Elaeis guineensis Jacq. (Palmier à huile) en Basse-Casamance* (Mémoire de Master 2). Université Assane SECK de Ziguinchor.
- Salifou, C. F. A., Kassa, K. S., Ahounou, S. G., Moussa, H., Dotché, I. O., Agbozo, J. M., Issifou, M. T., & Youssao, I. A. K. (2017). Lactogenic plants and their methods of preparation in traditional breeding farms in Benin. *Livestock Research for Rural Development*, 29(2). <http://www.lrrd.org/lrrd29/2/sali29025.html>
- Seo, S. N., & Mendelsohn, R. (2008). Animal husbandry in Africa: Climate change impacts and adaptations. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2(1), 65-82. <https://econpapers.repec.org/scripts/redir.php?u=https%3A%2F%2Fdoi.org%2F10.22004%252Fag.econ.56968;h=repec:ags:afjare:56968>
- Shah, S. R. U., & Mahmood, K. (2017). Review of Google scholar, Web of Science, and Scopus search results: The case of inclusive education research. *Library Philosophy and Practice*. <https://digitalcommons.unl.edu/libphilprac/1544/>
- Sidi Imorou, H., Babatounde, S., Sidi Imorou, F., & Mensah, G. A. (2016). Ligneux fourrager des parcours naturels communautaires du Nord-Bénin : Prédiction de la valeur nutritive au moyen de plusieurs approches analytiques. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 29(1), 4537-4552.
- Sounon Kon'De Lafia Sika, A., Lessé, P., Ickowicz, A., Messad, S., Houinato, M., & Mensah, G. A. (2019). Évolutions des systèmes d'élevage bovin au nord-ouest du Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 22-29. http://www.slire.net/download/2543/article_3_complet_brab_n_sp_interdisc_sept_2019_sounon_et_al_volutions_syst_mes.pdf
- Souza, E. C. de, Salman, A. K. D., Cruz, P. G. da, Veit, H. M., Carvalho, G. A. de, Silva, F. R. F. da, & Schmitt,

- E. (2019). Thermal comfort and grazing behavior of Girolando heifers in integrated crop-livestock (ICL) and crop-livestock-forest (ICLF) systems. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, 41. <https://doi.org/10.4025/actas-cianimsci.v41i1.46483>
- Steinfeld, H., Gerber, P. J., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. Rome: Food & Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Sultan, B., Guan, K., Kouressy, M., Biasutti, M., Piani, C., Hammer, G. L., McLean, G., & Lobell, D. B. (2014). Robust features of future climate change impacts on sorghum yields in West Africa. *Environmental Research Letters*, 9(10), 104006. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/9/10/104006>
- Sultan, B., & Gaetani, M. (2016). Agriculture in West Africa in the twenty-first century: climate change and impacts scenarios, and potential for adaptation. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1262. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01262>
- Sultan, B., Defrance, D., & Iizumi, T. (2019). Evidence of crop production losses in West Africa due to historical global warming in two crop models. *Scientific Reports*, 9, 12834. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49167-0>
- Taylor, C. M., Belušić, D., Guichard, F., Parker, D. J., Vischel, T., Bock, O., ... G. Panthou (2017). Frequency of extreme Sahelian storms tripled since 1982 in satellite observations. *Nature*, 544, 475-478. <https://doi.org/10.1038/nature22069>
- Tiemann, T. T., Lascano, C. E., Wettstein, H.-R., Mayer, A. C., Kreuzer, M., & Hess, H. D. (2008). Effect of the tropical tannin-rich shrub legumes *Calliandra calothrysus* and *Flemingia macrophylla* on methane emission and nitrogen and energy balance in growing lambs. *Animal*, 2(5), 790-799. <https://doi.org/10.1017/S1751731108001791>
- Walter, D. (2011). *Silvopasture: An agroforestry practice—Benefits to integrating farm and forest management*. Speech presented at Silvopasture Workshop, Goldsboro, North Carolina.
- Wolfenson, D., Roth, Z., & Meidan, R. (2000). Impaired reproduction in heat-stressed cattle: Basic and applied aspects. *Animal Reproduction Science*, 60, 535-547. [https://doi.org/10.1016/S0378-4320\(00\)00102-0](https://doi.org/10.1016/S0378-4320(00)00102-0)
- Wright, I. A., Tarawali, S., Blümmel, M., Gerard, B., Teufel, N., & Herrero, M. (2012). Integrating crops and livestock in subtropical agricultural systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(5), 1010-1015. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4556>
- Yapi-Gnaoré, C. V., N'Goran, K. E., Fantodji, A., & Ahoussou, N. (2009). Influence des facteurs de production sur l'élevage laitier périurbain des régions de savane et de forêt de Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 19, 1065-1073. <https://www.m.elewa.org/JABS/2009/19/5.pdf>
- Zougmoré, R., Mando, A., & Stroosnijder, L. (2004). Effect of soil and water conservation and nutrient management on the soil-plant water balance in semi-arid Burkina Faso. *Agricultural Water Management*, 65(2), 103-120. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2003.07.001>

Résumé

Le changement climatique constitue une menace pour l'élevage en raison de ses conséquences sur les performances des animaux et sur la disponibilité des ressources pastorales. Les systèmes sylvopastoraux et agrosylvopastoraux sont des solutions pour concilier production animale durable et changement climatique. Ce document synthétise la littérature existante sur la diversité de ces systèmes d'élevage dans les zones de savanes et les régions côtières d'Afrique de l'Ouest, sur leurs contributions à l'adaptation et à l'atténuation du changement climatique, ainsi qu'à l'amélioration de la productivité des animaux et à la sécurité alimentaire des ménages. Les résultats de cette synthèse montrent que les arbres constituent des ressources alimentaires pour les animaux durant la période de soudure (absence de fourrages s'étendant généralement de mars à mai), ce qui améliore leur production. Ils constituent également de véritables sources d'atténuation au changement climatique.

Abstract

Silvo-pastoralism and agro-sylvo-pastoralism to help cope with climate change in West Africa

Climate change poses a threat to livestock production due to its impact on animal performance and the availability of pastoral resources. Sylvopastoral and agro-sylvo-pastoral systems are solutions for reconciling sustainable livestock production and climate change. This document synthesizes the existing literature on the diversity of these livestock systems in savannah areas and coastal regions of West Africa, on their contributions to adaptation and mitigation of climate change, as well as to improving animal productivity and household food security. The results of this synthesis show that trees constitute food resources for animals during the lean period (absence of fodder generally extending from March to May), which improves their production. They also constitute real sources of mitigation to climate change.

HESSA, C. C., ALABI, C. D. A., ASSANI, A. S., WOROGO, S. H. S., AZALOU, M., IWAKA, C., & ALKOIRET, T. I. (2024). Le sylvopastoralisme et l'agrosylvopastoralisme pour aider à faire face au changement climatique en Afrique de l'Ouest. *INRAE Productions Animales*, 37(4), 7822. <https://doi.org/10.20870/productions-animaux.2024.37.4.7822>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>

La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, les pages et le DOI en respectant les informations figurant ci-dessus.