



**Original Paper**

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

## Quantification des stocks de carbone dans des systèmes agro-sylvopastoraux et sylvopastoraux de deux zones agroécologiques du Bénin

Célestin Cokou HESSA\*, Yaya IDRISOU, Alassan Seidou ASSANI,  
Hilaire Sorébou SANNI WOROGO, Brice Gérard Comlan ASSOGBA et  
Ibrahim ALKOIRET TRAORE

*Laboratoire d'Ecologie, Santé et Production Animales (LESPA), Faculté d'Agronomie (FA), Université de  
Parakou, 01 BP 123, Parakou (Bénin).*

*\*Auteur correspondant ; E-mail: [celcokhessa@gmail.com](mailto:celcokhessa@gmail.com)*

Received: 07-08-2023

Accepted: 19-09-2023

Published: 31-10-2023

### RESUME

Dans de nombreux pays, les pratiques agroforestières ont été proposées pour lutter contre la dégradation des terres et le changement climatique. Parmi ces pratiques figure l'agro-sylvo-pastoralisme et le sylvopastoralisme qui constituent des puits de carbone (C). Cependant, des informations sont rares sur le potentiel de puits de C de ces pratiques au Bénin. L'objectif de cette étude était d'évaluer le stock de C de ces deux pratiques agroforestières avec chacune deux variantes : petit agro-sylvo-pastoralisme (PAS), petit sylvopastoralismes (PSV), grand sylvopastoralisme (GSV), et grand agro-sylvo-pastoralisme (GAS). Les données collectées ont été des dendrométriques, des échantillons de litière, herbacées, culture et sol. Les résultats ont révélé que quel que soit le type d'élevage considéré, le sol et les arbres constituaient les plus grands réservoirs de C. Le stock total de C a significativement varié ( $p < 0,05$ ) d'un type d'élevage à l'autre. Ainsi, les stocks totaux de C ont été de 73,34 t C/ha ; 62,52 t C/ha ; 50,89 t C/ha et 49,94 t C/ha respectivement pour les types GAS, GSV, PAS et PSV. Ces résultats montrent la contribution considérable de ces pratiques dans la séquestration du carbone au Bénin. Ainsi ces pratiques doivent être vulgariser dans tout le pays.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés :** Agroforesterie, élevage bovin, changement climatique, séquestration du carbone.

## Quantifying carbon stocks in agro-silvo-pastoral and silvo-pastoral systems in two Agro-ecological zones of Benin

### ABSTRACT

In many countries, agroforestry practices have been proposed to address land degradation and climate change. These practices include agro-silvo-pastoralism and silvo-pastoralism. Among these practices are agro-silvo-pastoralism and silvo-pastoralism which constitute carbon sinks (C). However, information is scarce on the C sink potential of these practices in Benin. The aim of this study was to evaluate the stock of C of two agroforestry practices with each two variants: small agro-silvo-pastoralism (PAS), small silvo-pastoralism (PSV), large silvo-pastoralism (GSV), and finally large agro-silvo-pastoralism (GAS). To achieve this aim, dendrometric data, litter, herbaceous, crop, and soil samples were collected. The results revealed that regardless of the type of livestock considered, the soil and the trees constituted the largest reservoirs of C while the litter constituted the weakest reservoir. The total stock of C varied significantly ( $p < 0.05$ ) from one type of farm to

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

9472-IJBCS

DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i6.8>

another. Thus, the total C stocks were 73.34 t C/ha; 62.52 t C/ha; 50.89 t C/ha and 49.94 t C/ha respectively for the GAS, GSV, PAS, and PSV types. These results show the considerable contribution of these systems in carbon sequestration in Benin. Thus, these practices must be popularized throughout the country.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

**Keywords:** Agroforestry, cattle farming, climate change, carbon sequestration.

## INTRODUCTION

Les émissions mondiales actuelles de gaz à effet de serre (GES) sont estimées à  $10^{15}$  g de carbone (C) par an, sans espoir immédiat d'une inversion drastique de ce taux d'émission (Nath et al., 2021). Le Bénin à l'instar des autres pays de l'Afrique subsaharienne est un contributeur à ces émissions de GES. Le secteur agricole était la principale source d'émission des GES au Bénin, représentant 68% des émissions totales de CO<sub>2</sub>eq en 2000 avec du CH<sub>4</sub> provenant principalement de la fermentation entérique du bétail (84%), représentant 29% des émissions de ce secteur (MEHU, 2011).

Le secteur agricole étant la principale forme d'utilisation des terres au Bénin, il peut être mis à contribution pour atténuer le changement climatique. En effet, l'augmentation des stocks de C organique du sol sur les terres cultivées améliorerait la performance des sols et augmenterait la résilience agricole au changement climatique, tout en réduisant les émissions nettes de GES des sols (Paustian et al., 2019). Glover et al. (2012) ont suggéré la pérennisation des terres agricoles comme stratégie pour atténuer le changement climatique et pour améliorer la sécurité alimentaire et la prestation de services écosystémiques. Parmi les plantes vivaces, il a été largement démontré que les espèces ligneuses accumulent du carbone au fil du temps. Selon une analyse mondiale récente une période de 20 ans de changement des cultures annuelles aux cultures pérennes a entraîné en moyenne une augmentation de 20% du C organique dans la profondeur du sol de 0 à 30 cm (Ledo et al., 2020).

Parmi les différentes options de pérennisation, l'agroforesterie recèle un grand potentiel pour créer des puits de C et atténuer les émissions de GES de l'agriculture, tout en

augmentant la capacité d'adaptation (Samba et al., 2012; Kuyah et al., 2019). Plusieurs auteurs (Cerda et al., 2019 ; Xu et al., 2020 ; Muchane et al., 2020) ont démontré que des puits de carbone potentiels substantiels existent dans les systèmes agroforestiers.

Bien qu'il s'agisse d'une ancienne pratique de gestion des terres remontant au Moyen Âge (King, 1987), la plupart des recherches, politiques et développements délibérés qui caractérisent le concept d'agroforesterie moderne ont atteint leur maturité dans les années 1970 (van Noordwijk, 2019 ; Nair et al., 2021). Le point de convergence sur les définitions présentées par différentes études est que l'agroforesterie est une intégration délibérée d'arbres dans une séquence temporelle ou spatiale particulière dans des terres agricoles ou pastorales, y compris des forêts et des lisières forestières, pour produire de multiples services écosystémiques et des avantages pour les moyens de subsistance. Depuis plus d'un demi-siècle maintenant, les scientifiques du monde entier ont exploré divers angles et dimensions dans lesquels l'agroforesterie est pratiquée, les avantages potentiels et les défis limitant sa pleine adoption (Bjornlund et al., 2020). Les tendances et les modèles se sont considérablement déplacés des technologies agroforestières simples « au niveau de la parcelle et de la ferme » que les agriculteurs avec un minimum de soutien scientifique développent localement, aux technologies agroforestières modernes « au niveau des paysages, des écosystèmes et des moyens de subsistance » qui sont développées de manière techno-scientifique et caractérisées par une végétation et des structures des composants (Muthee et al., 2022). Dans leurs formes finales, les systèmes agroforestiers complexes ont un fonctionnement écologique et une

fourniture de services écosystémiques qui imitent ceux des forêts naturelles (Asase et Tetteh, 2010; Laouali et al., 2014). Nair et al. (2009) ont estimé que 1 023 millions d'hectares de terres dans le monde sont sous agroforesterie, un nombre qui a probablement augmenté avec le temps (Muthee et al., 2022).

Au Bénin, Hessa et al. (2023) ont distingué, deux grands types de pratiques agroforestiers (agrosylvopastoralisme et sylvopastoralisme) avec chacune deux variantes : petit agro-sylvo-pastoralisme (Type 1 : PAS), petit sylvopastoralisme (Type 2 : PSV), grand sylvopastoralisme (Type 3 : GSV), et enfin grand agro-sylvo-pastoralisme (Type 4 : GAS). Des études antérieures ont permis d'évaluer la productivité du bétail dans ces différents types d'élevage ainsi que les émissions de gaz à effet de serre. Bien que ces études aient apporté des éclaircissements sur ces aspects, elles restent insuffisantes. En effet, les informations sur le potentiel de puits de C de ces pratiques au Bénin sont rares. C'est donc dans cette optique que la présente étude vise à évaluer le stock de C de ces types de systèmes agroforestiers par Hessa et al. (2023) dans les zones agroécologiques cotonnière du nord et du centre du Bénin.

## MATERIEL ET METHODES

### 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 rencontré 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.

## Matériel

### Types de systèmes étudiés

Ce travail a été réalisé sur les deux grands types de pratiques agroforestiers (agrosylvopastoralisme et sylvopastoralisme) avec chacune deux variantes, identifiés par Hessa et al. (2023) dans deux zones agroécologiques du Bénin :

*Système de 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.

*Système de 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.

*Système de 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.

*Système de 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.

**Méthodes**

**Collecte des données**

*Estimation du stock de carbone dans la biomasse aérienne et racinaire des arbres*

Pour estimer le stock de carbone dans la biomasse aérienne et racinaire, des mesures ont été réalisées sur les arbres dans 32 exploitations (à raison de 8 exploitations par type de système). Trois parcelles de 1000 m<sup>2</sup> chacune (50 x 20m) ont été installées dans chaque

exploitation. Au sein de ces parcelles, un inventaire exhaustif de tous les arbres a été réalisé. Les mesures dendrométriques prises ont été le diamètre à hauteur de poitrine (DBH) et la hauteur des arbres. Les arbres avec DBH ≤ 5 cm ont été exclus car ils contiennent une faible proportion de la biomasse aérienne (Dimobe et al., 2019). Le DBH a été déterminé à partir de la circonférence mesurée à l'aide d'un ruban, à 1,30 m au-dessus du sol. Il a été calculé par la formule suivante

$$DBH = \frac{C}{\pi}$$

Où C : circonférence de l'arbre à 1,30 m du sol et  $\pi = 3,14$ .

Pour estimer la biomasse aérienne (BA) des arbres, l'équation proposée par la FAO (1997) a été utilisée :

$$BA = \exp^{-1,996+2,32\ln DBH}$$

Avec : BA : biomasse aérienne (t/ha) ; DBH : circonférence de l'arbre à 1,30 m.

La biomasse racinaire (BR) a été estimée à partir de la BA. En considérant le rapport racine/tige, la biomasse racinaire représente 24% de la biomasse aérienne (IPCC, 2006). Ainsi, ce taux a été utilisé pour estimer la biomasse racinaire.

$$BR = 0,24 * BA$$

La biomasse totale (BT) des arbres a été la somme de la biomasse aérienne et racinaire (Loubota Panzou et al., 2016).

$$BT = BA + BR$$

La biomasse totale a été calculée pour chaque arbre et additionnée pour une même parcelle. Le stock de carbone de la biomasse totale a été obtenu au niveau de chaque parcelle en multipliant la biomasse totale par la valeur de fraction de carbone par défaut de 0,5 (IPCC, 2006). Le stock de carbone estimé dans chaque parcelle (1000 m<sup>2</sup>) a été ensuite extrapolé à l'échelle d'un hectare (10000 m<sup>2</sup>) en utilisant le facteur d'expansion (FE), représentant ainsi la proportion de l'hectare dans la surface d'échantillonnage estimée. Ainsi,  $EF = 10000 \text{ m}^2 / 1000 \text{ m}^2 = 10$ .

*Estimation du stock de carbone au niveau de la végétation herbacée et de la litière*

Au sein de chaque parcelle de 1000 m<sup>2</sup> installée dans chaque exploitation, 6 quadrats

de 1m<sup>2</sup> (1m × 1m) ont été établies. Toutes les herbacées présentes dans chaque quadrat ainsi que la litière ont été récoltées pesée sur place. Des échantillons d'herbacées et de litière ont été ensuite prélevés et acheminés au laboratoire pour analyses chimiques. Ces échantillons ont été séchés à l'étuve à 65°C puis broyés pour le dosage du carbone organique par la méthode de calcination. La biomasse souterraine des herbacées a été calculée en multipliant la biomasse aérienne des par un facteur de rapport racine/pousses des herbacées (Rajput et al., 2015). Le stock de carbone a été obtenu en multipliant la biomasse avec la valeur par défaut de IPCC (0,5).

#### *Estimation du stock de carbone au niveau des cultures*

Au niveau de chaque culture mis en place au sein de chaque ferme, 3 quadrats de 1 m<sup>2</sup> par culture ont été établi pour estimer la biomasse des cultures. Toute la biomasse cultivée présente dans les limites des carrés ont été coupée et pesée. Ensuite des échantillons ont été prélevés, et séchés au four à 65°C jusqu'à un poids constant. La biomasse souterraine des cultures a été calculée en multipliant la biomasse aérienne des cultures par un facteur de rapport racine/pousses de la culture (Rajput et al., 2015). Le stock de carbone a été obtenu en multipliant la biomasse avec la valeur par défaut de IPCC (0,5).

#### *Estimation du carbone du sol*

Au sein de chaque parcelle de 1000 m<sup>2</sup> installée dans chaque exploitation, des échantillons de sol ont été prélevés. Un échantillon a été prélevé près du centre de chaque parcelle à trois profondeurs de sol (0-20 cm, 20-40 cm et 40-60 cm) pour déterminer la densité apparente (DA) par la méthode du cylindre. Cette méthode consiste à prélever un échantillon de sol à l'aide d'un cylindre métallique creux. La terre extraite du cylindre est nivelée aux extrémités. Le volume de terre prélevé est égal à celui du cylindre. Les échantillons de sol sont ensuite prélevés et séchés à 105°C, au laboratoire, puis pesés.

DA

$$= \frac{\text{Poids du sol séché} - \text{Poids à vide du cylindre}}{\text{Volume apparent}}$$

Cinq échantillons supplémentaires ont été prélevés (un à chaque coin et centre de la parcelle) aux mêmes profondeurs pour déterminer la teneur en carbone du sol. Les échantillons pour déterminer le stock en carbone du sol ont été regroupés par profondeur de sol et par parcelle. Ainsi un total de 96 échantillons (32 sites x 3 profondeurs) a été utilisé pour déterminer le stock en carbone du sol. Ces échantillons de sol ont été d'abord séchés à température ambiante puis tamisés à 2 mm pour séparer les matières fines et grossières. Ils ont ensuite été utilisés pour déterminer le carbone organique par la méthode Walkley et Black (Walakley et Black, 1934) qui consiste à oxyder la matière organique du sol avec du bichromate de potassium (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 1 N) en milieu acide dans le sol / K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> rapport de 0,25/10. La teneur en carbone a été déterminée par titrage avec une solution de sulfate de fer 0,5N après ajout d'un indicateur diphenylamine.

Le stock en carbone des échantillons du sol a été calculé selon la formule proposée par (FAO, 2002) :

$$S_c = \sum_{profondeur=1}^{profondeur=n} S_{CP} \\ = \sum_{profondeur=1}^{profondeur=n} (DA * p * 1 - fragment * 100,000,000 * \%C)$$

Où :  $S_c$  = somme des stocks de carbone organique du sol pour les différentes profondeur considérées (kg ha<sup>-1</sup>);  $C_{SD}$  = stock de carbone organique à une profondeur de sol spécifique (kg ha<sup>-1</sup>); DA = densité apparente (kg cm<sup>-3</sup>); d = profondeur du sol (cm); %C = concentration de carbone organique total du sol, obtenue par analyse en laboratoire (g C kg<sup>-1</sup> soil); n = nombre de profondeur considérées; 100,000,000 est le facteur de conversion = (kg cm<sup>-3</sup>) x (10,000 cm<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) x (10,000 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>).

#### **Analyse statistique**

Le tableur Excel a été utilisé pour la saisie des données. Le logiciel R (R Core Team Development, 2018) a été ensuite utilisé pour les analyses statistiques. Ces analyses ont essentiellement consisté en des analyses de

variance à un facteurs (type de système agroforestier). Les valeurs moyennes ont été ensuite comparées entre elles à l'aide du test de turkey au seuil de 5% (niveau de probabilité).

## RESULTATS

### Stock de carbone dans la biomasse aérienne et racinaire des arbres

La biomasse aérienne des arbres a varié ( $p < 0,05$ ) en fonction du type d'élevage (Tableau 1). Ainsi, les fortes biomasses ont été obtenues dans les élevages GAS, GSV et PSV, alors que la faible biomasse a été obtenue dans le type PAS. Cette tendance a été la même en ce qui concerne la biomasse totale. Par contre, aucune différence significativement ( $p > 0,05$ ) n'a été observée au niveau de la biomasse racinaire des arbres des quatre types d'élevages. Le stock de carbone dans la biomasse totale des arbres a été significativement plus élevé ( $p < 0,05$ ) au niveau des types GSV ( $19,36 \pm 4,45$  t C/ha) et GAS ( $18,76 \pm 3,75$  t C/ha) qu'au niveau du type PAS ( $16,19 \pm 2,25$  t C/ha). Les élevages du type PSV occupent une position intermédiaire entre les trois précédents types d'élevages en ce qui concerne ce paramètre ( $17,43 \pm 3,41$  t C/ha).

### Stock de carbone au niveau des cultures, de la végétation herbacée et de la litière

Les biomasses aérienne et souterraine des cultures ont varié ( $p < 0,05$ ) d'un type d'élevage à l'autre (Tableau 2). Cette observation a été la même en ce qui concerne la biomasse totale. Ainsi, la quantité de biomasse totale des cultures obtenue au niveau des élevages des types GAS, PAS, GSV et PSV ont été respectivement  $19,08 \pm 2,11$  t MS/ha ;  $12,09 \pm 1,73$  t MS/ha ;  $10,21 \pm 1,60$  t MS/ha et  $8,38 \pm 1,32$  t MS/ha.

La quantité de biomasse totale des herbacées obtenue au niveau des types GSV ( $5,27 \pm 1,10$  t MS/ha) et GAS ( $5,12 \pm 1,70$  t MS/ha) ont été plus élevées ( $p < 0,05$ ) que celle obtenue au niveau des types PSV ( $4,89 \pm 0,81$  t MS/ha) et PAS ( $4,65 \pm 0,70$  t MS/ha) qui sont

presque identiques. Cette tendance a été la même en ce qui concerne la biomasse de la litière (Tableau 2).

La quantité de carbone stockée dans les cultures a été plus élevée ( $p < 0,05$ ) au niveau des types GAS ( $9,54 \pm 1,25$  t C/ha) et plus faible au niveau des types PSV ( $4,19 \pm 0,92$  t C/ha). En ce qui concerne les herbacées, les stocks de carbone ont été plus élevée ( $p < 0,05$ ) au niveau des types GSV ( $2,64 \pm 0,10$  t C/ha) et GAS ( $2,56 \pm 0,09$  t C/ha) alors que les faibles valeurs ont été enregistrées au niveau des types PSV ( $2,45 \pm 0,08$  t C/ha) et PAS ( $2,33 \pm 0,07$  t C/ha). Cette observation a été la même en ce qui concerne le stock de carbone dans la litière.

### Stock de carbone dans le sol

Quel que soit la profondeur considérée, le type GAS a montré des stocks de C du sol les plus élevées ( $11,89$  t C/ha ;  $14,88$  t C/ha ;  $13,87$  t C/ha et  $40,64$  t C/ha respectivement pour la profondeur de 0 à 10 cm ; 10 à 20 cm ; 20 à 30 cm et de 0 à 30 cm) suivi du type GSV ( $10,16$  t C/ha ;  $12,11$  t C/ha ;  $11,32$  t C/ha et  $33,59$  t C/ha respectivement pour la profondeur de 0 à 10 cm ; 10 à 20 cm ; 20 à 30 cm et de 0 à 30 cm). Les types PAS et PSV ont présenté presque les mêmes ( $p > 0,05$ ) stocks de C dans le sol (Figure 1).

### Stock total de carbone

Le stock total de C considéré est la somme des stocks de C dans tous les compartiments de chaque type d'élevage à savoir : la litière, les herbacées, les cultures, les arbres et le sol. Quel que soit le type d'élevage considéré, le sol et les arbres constituaient les plus grands réservoirs de C alors que la litière constituait la plus petite réservoir (Figure 2).

Le stock total de C a significativement varié ( $p < 0,05$ ) d'un type d'élevage à l'autre. Ainsi, le stock de C des élevages du type GAS a été la plus élevé ( $73,34$  t C/ha), suivi du type GSV ( $62,52$  t C/ha). Le stock de C du type PSV a été la plus faible ( $49,94$  t C/ha). Cependant, il n'existe aucune différence significative entre cette valeur et celle du type PAS ( $50,89$  t C/ha).

**Tableau 1 :** Stock de carbone contenu dans la biomasse totale des arbres des différents types d'élevage.

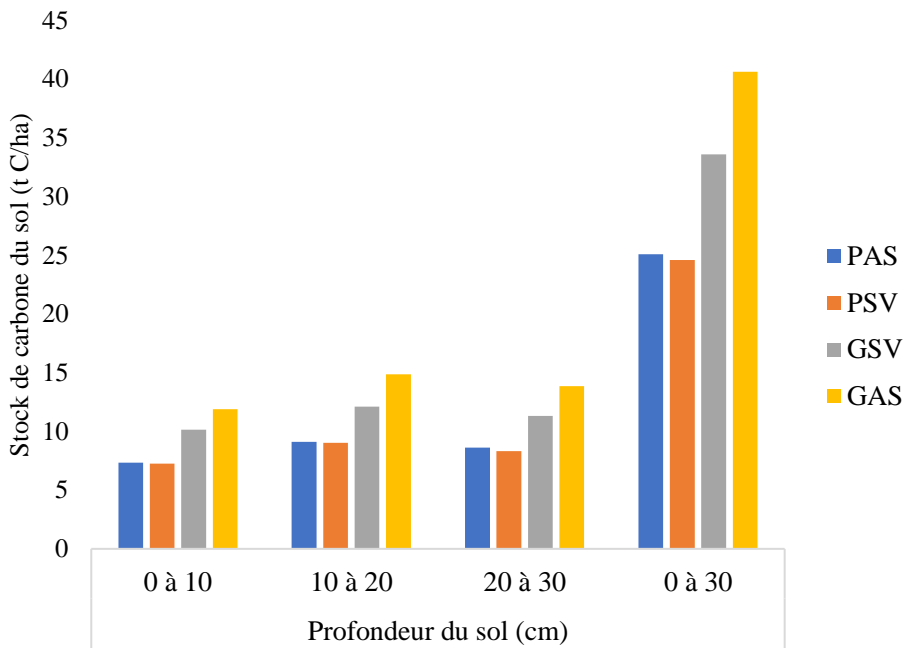
Paramètres	Types de système			
	PAS	PSV	GSV	GAS
Superficie occupée par les arbres (ha)	0,5 ± 0,62 <sup>d</sup>	2 ± 2,89 <sup>c</sup>	5 ± 0,87 <sup>a</sup>	3 ± 4,21 <sup>b</sup>
Biomasse aérienne des arbres (t MS/ha)	26,12 ± 4,51 <sup>b</sup>	28,12 ± 4,51 <sup>ab</sup>	31,23 ± 6,55 <sup>a</sup>	30,25 ± 5,72 <sup>a</sup>
Biomasse racinaire des arbres (t MS/ha)	6,27 ± 2,48 <sup>a</sup>	6,75 ± 2,65 <sup>a</sup>	7,50 ± 3,30 <sup>a</sup>	7,26 ± 2,25 <sup>a</sup>
Biomasse totale des arbres (t MS/ha)	32,39 ± 5,15 <sup>b</sup>	34,87 ± 6,31 <sup>ab</sup>	38,73 ± 7,45 <sup>a</sup>	37,51 ± 6,72 <sup>a</sup>
Stock de carbone arbres (t C/ha)	16,19 ± 2,25 <sup>b</sup>	17,43 ± 3,41 <sup>ab</sup>	19,36 ± 4,45 <sup>b</sup>	18,76 ± 3,75 <sup>b</sup>

Les moyennes de la même ligne indicées de différentes lettres sont significativement différentes au seuil de 5% ; PAS : Petits Agro-sylvopasteurs ; PSV : Petits Sylvopasteurs ; GAS : Grands Agro-sylvo-pasteurs ; GSV : Grand Sylvopasteurs.

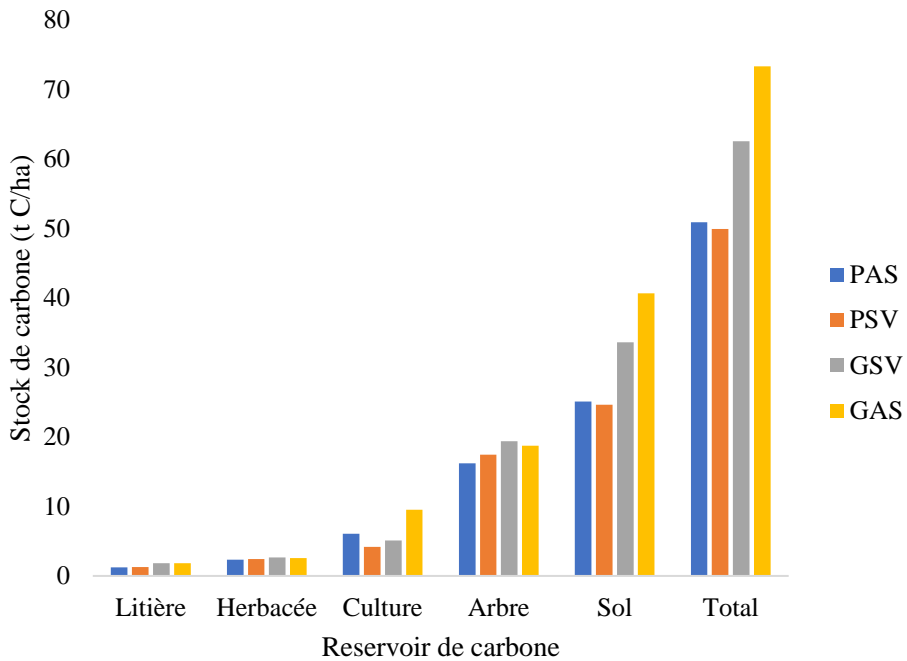
**Tableau 2 :** Stock de carbone contenu dans les cultures, la végétation herbacée et la litière des différents types d'élevage.

Paramètres	Types de système			
	PAS	PSV	GSV	GAS
<i>Biomasse aérienne des cultures (t MS/ha)</i>				
Maïs	4,20 ± 0,89 <sup>b</sup>	2,95 ± 0,85 <sup>d</sup>	3,63 ± 0,78 <sup>c</sup>	4,95 ± 0,71 <sup>a</sup>
Sorgho	2,95 ± 0,17 <sup>b</sup>	1,96 ± 0,45 <sup>d</sup>	2,25 ± 0,34 <sup>c</sup>	3,65 ± 0,58 <sup>a</sup>
Mil	-	-	-	3,44 ± 0,82
Arachide	0,85 ± 0,11 <sup>c</sup>	0,80 ± 0,17 <sup>c</sup>	1,10 ± 0,23 <sup>b</sup>	1,55 ± 0,27 <sup>a</sup>
Soja	1,75 ± 0,21 <sup>a</sup>	1,05 ± 0,14 <sup>c</sup>	1,25 ± 0,11 <sup>b</sup>	1,80 ± 0,23 <sup>a</sup>
<i>Biomasse souterraine des cultures (t MS/ha)</i>				
Maïs	1,01 ± 0,10 <sup>b</sup>	0,71 ± 0,08 <sup>d</sup>	0,87 ± 0,03 <sup>c</sup>	1,19 ± 0,21 <sup>a</sup>
Sorgho	0,71 ± 0,09 <sup>b</sup>	0,47 ± 0,07 <sup>d</sup>	0,54 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,88 ± 0,10 <sup>a</sup>
Mil	-	-	-	0,83 ± 0,15
Arachide	0,20 ± 0,02 <sup>c</sup>	0,19 ± 0,03 <sup>c</sup>	0,26 ± 0,05 <sup>b</sup>	0,37 ± 0,08 <sup>a</sup>
Soja	0,42 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,25 ± 0,01 <sup>c</sup>	0,30 ± 0,04 <sup>b</sup>	0,43 ± 0,02 <sup>a</sup>
Total biomasse aérienne et souterraine des cultures (t MS/ha)	12,09 ± 1,73 <sup>b</sup>	8,38 ± 1,32 <sup>d</sup>	10,21 ± 1,60 <sup>c</sup>	19,08 ± 2,11 <sup>a</sup>
<i>Biomasse des herbacées et litière (t MS/ha)</i>				
Biomasse aérienne des herbacées	3,75 ± 0,65 <sup>b</sup>	3,95 ± 0,70 <sup>b</sup>	4,25 ± 1,04 <sup>a</sup>	4,13 ± 1,01 <sup>a</sup>
Biomasse souterraine des herbacées	0,90 ± 0,02 <sup>c</sup>	0,95 ± 0,06 <sup>bc</sup>	1,02 ± 0,09 <sup>a</sup>	0,99 ± 0,08 <sup>ab</sup>
Total biomasse des herbacées (aérienne et souterraine)	4,65 ± 0,70 <sup>b</sup>	4,89 ± 0,81 <sup>b</sup>	5,27 ± 1,10 <sup>a</sup>	5,12 ± 1,70 <sup>a</sup>
Biomasse de la litière	2,48 ± 0,10 <sup>b</sup>	2,52 ± 0,12 <sup>b</sup>	3,65 ± 0,76 <sup>a</sup>	3,71 ± 0,82 <sup>a</sup>
<i>Stock de carbone (t C/ha)</i>				
Stock de carbone dans les cultures	6,05 ± 1,09 <sup>b</sup>	4,19 ± 0,92 <sup>d</sup>	5,10 ± 1,01 <sup>c</sup>	9,54 ± 1,25 <sup>a</sup>
Stock de carbone dans les herbacées	2,33 ± 0,07 <sup>b</sup>	2,45 ± 0,08 <sup>b</sup>	2,64 ± 0,10 <sup>a</sup>	2,56 ± 0,09 <sup>a</sup>
Stock de carbone dans la litière	1,24 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,26 ± 0,04 <sup>b</sup>	1,83 ± 0,08 <sup>a</sup>	1,85 ± 0,09 <sup>a</sup>

Les moyennes de la même ligne indicées de différentes lettres sont significativement différentes au seuil de 5% ; PAS : Petits Agro-sylvopasteurs ; PSV : Petits Sylvopasteurs ; GAS : Grands Agro-sylvo-pasteurs ; GSV : Grand Sylvopasteurs.



**Figure 1 :** Stock de carbone du sol des différents types d'élevage. PAS : Petits Agro-sylvopasteurs ; PSV:Petits Sylvopasteurs ; GAS : Grands Agro-sylvo-pasteurs ; GSV : Grand Sylvopasteurs.



**Figure 2 :** Stock total de carbone dans chaque système d'élevage. PAS : Petits Agro-sylvopasteurs ; PSV :Petits Sylvopasteurs ; GAS : Grands Agro-sylvo-pasteurs ; GSV : Grand Sylvopasteurs.



## DISCUSSION

L'agroforesterie est importante en tant que stratégie de séquestration du C en raison du potentiel de stockage du carbone dans ses multiples espèces végétales et son sol ainsi que de son applicabilité dans les terres agricoles (Rajput et al., 2015). En incluant les arbres dans les systèmes de production agricole, l'agroforesterie peut sans doute augmenter la quantité de carbone stockée dans les terres consacrées à l'agriculture, tout en permettant de mettre en place des cultures vivrières (Kürsten, 2000). Bien que certaines études aient montré que les systèmes agrosylvopastoraux et sylvopastoraux qui sont des formes de systèmes agroforestiers contribuent à l'atténuation du changement climatique à travers la séquestration du carbone (de Freitas et al., 2020) les données dans le contexte béninois sont rares. Ainsi, la présente étude a permis de combler cette lacune.

Le stock de carbone dans la biomasse totale des arbres (aérienne et racinaire) obtenu dans cette étude a varié entre 16,19 et 19,36 t C/ha. Selon Kooke et al. (2019), la capacité de stockage du carbone dans les arbres varie entre 14,48 et 50,11 t C/ha. Les valeurs obtenues dans cette étude sont comprises dans cet intervalle. Par les contres nos valeurs sont inférieures à celles de 60 et 90 t C/ha rapportées proposé par Palm et al. (1999). Les systèmes GSV et GAS ont eu les forts stocks de carbone comparé au système PAS. Plusieurs facteurs pourraient expliquer ce résultat. En effet, la quantité de carbone séquestré dépend du type d'espèce, de l'âge des espèces et de la densité de la plantation (Diatta et al., 2016; Kooke et al., 2019). D'autres facteurs comme le climat, le sol et la gestion du système pourraient également expliquer cette variation (Montagnini et Nair, 2004).

La quantité totale de biomasse aérienne et souterraine des cultures variait d'un système à l'autre, avec une production élevée dans les systèmes GAS suivi des systèmes PAS. Ces variations résulteraient de la combinaison de plusieurs facteurs, dont le choix de la parcelle de culture, la gestion de la fertilité des sols et les itinéraires techniques de culture (Bamouni, 2016). La production de la biomasse des

herbacées et de la litière a également varié d'un système à l'autre, avec de forte production au niveau des systèmes GAS et GSV. Par ailleurs, les stocks de C dans les cultures, les herbacées et la litière ont suivi les mêmes tendances que la production de la biomasse de chaque composante. En effet, le taux du stock de C est simplement une dérivation du taux de production de biomasse (Rajput et al., 2015).

Quel que soit le type de système considéré, le C organique du sol a augmenté de la première profondeur (0 à 10 cm) à la deuxième profondeur (10 à 20 cm), puis un déclin a été constaté. Cela peut être dû à la nature du système d'utilisation des terres, à l'influence de l'âge, de la structure, des composants fonctionnels et de leur densité, des types de sols ainsi que des conditions climatiques. La faible teneur en C organique du sol à la première profondeur peut être due à une température et une humidité élevées qui ont facilité une décomposition et une minéralisation plus rapides du C organique du sol. En général, les valeurs de C du sol séquestré par hectare obtenues dans cette étude étaient supérieures aux valeurs rapportées par Assouma et al. (2019) au Sénégal. En revanche, les valeurs de séquestration du C du sol par hectare observées dans cette étude sont en accord avec les résultats obtenus par Kooke et al. (2019). Les systèmes GAS, suivi des systèmes GSV avaient des valeurs de séquestration du C du sol par hectare d'utilisation des terres significativement plus élevées que les systèmes PAS et PSV. Cela pourrait être la conséquence de la forte production de biomasse totale dans les systèmes GAS et GSV comparées aux systèmes PAS et PSV.

Le stock de carbone contenu dans les différents types de systèmes variait entre 49,94 à 73,34 t C/ha. Selon Albrecht et Kandji (2003), la capacité de stockage du carbone d'un système agro-forestier varie entre 12 et 228 t C/ha avec une valeur moyenne de 95 t C/ha. Les valeurs obtenues dans cette étude sont comprises dans cet intervalle. En effet, la quantité de carbone séquestrée par le système agro-forestier dépend largement du système de culture mise en place, de la structure et de la

fonction de ce dernier. Cela dépend aussi des espèces incluses dans le système agro-forestier et le système de gestion de ce dernier. Le stock total de carbone séquestré a été plus important dans le système GAS suivi du système GSV. Les faibles stocks ont été enregistrés dans les systèmes PAS et PSV. Ces différences sont imputables non seulement la quantité de biomasse produite mais aussi aux types d'espèces végétale et au mode de gestion de chaque système. De façon générale, les résultats de la présente étude ont révélé que les systèmes agrosylvopastoraux et sylvopastoraux quel que soit la variante (petit ou grand) sont d'excellent puits de carbone.

### Conclusion

L'étude a permis d'estimer des stocks de carbone dans les diverses composantes de deux systèmes agro forestier (agrosylvopastoralisme et sylvopastoralisme) avec chacune deux variantes (petit et grand) dans deux zones agroécologiques du Bénin. Les principaux résultats ont révélé que ces systèmes agro-forestiers emmagasinent une quantité importante de carbone avec pour principaux réservoirs le sol et les arbres. Ces résultats confirment l'énorme potentiel des systèmes agro-sylvo-pastoraux et sylvopastoraux dans la séquestration du carbone. Les politiques de développement agricole doivent s'intéresser à la vulgarisation de ces pratiques dans tout le Bénin. Sur cette base, des futurs travaux de recherche doivent évaluer les déterminants socio-économiques de l'adoption de ces pratiques d'une part et les espèces ligneuses à mettre en place par les éleveurs d'autre part.

### CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts.

### CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

CCH, AAS et IAT ont participé à la conception et à la planification de l'étude. CCH, YI et HSSW ont collecté et saisi les données de terrain. CCH a réalisé les analyses statistiques, interprété et rédigé la première version du manuscrit. IAT, BGCA et AAS ont

participé à la révision critique du manuscrit et ont donné leur accord sur la version finale à publier. Tous les auteurs autorisent la publication de la version finale.

### REMERCIEMENTS

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

### RÉFÉRENCES

- Albrecht A, Kandji ST. 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **99**: 15–27. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00138-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00138-5)
- Alkoiret TI, Radji M, Babatoundé S. 2011. Typologie des élevages bovins installés dans la commune de Ouaké au nord-ouest du Bénin. *Livest. Res. Rural Dev.*, **23**. DOI: <http://www.lrrd.org/lrrd23/3/alko23050.htm>
- Asase A, Tetteh DA. 2010. The role of complex agroforestry systems in the conservation of forest tree diversity and structure in southeastern Ghana. *Agrofor. Syst.*, **79**: 355–368. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9311-1>
- Assouma MH, Hiernaux P, Lecomte P, Ickowicz A, Bernoux M, Vayssières J. 2019. Contrasted seasonal balances in a Sahelian pastoral ecosystem result in a neutral annual carbon balance. *J. Arid Environ.*, **162**: 62–73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.11.013>
- Bamouni I. 2016. Etude diagnostique des technologies de cultures fourragères au sein des exploitations agropastorales dans la province du Houet. Mém. Fin D'étude IDRUPB 58p.
- Bjornlund V, Bjornlund H, Van Rooyen AF. 2020. Why agricultural production in sub-Saharan Africa remains low compared to the rest of the world—a historical perspective. *Int. J. Water Resour. Dev.*, **36**: 20–53. DOI:

- <https://doi.org/10.1080/07900627.2020.1739512>
- Cerda R, Orozco-Aguilar L, Sepúlveda N, Ordóñez J, Carreño-Rocabado G, Amores F, Caicedo W, Oblitas S, Somarriba E. 2019. Tropical agroforestry and ecosystem services: trade-off analysis for better design strategies. In *Agroforestry for Sustainable Agriculture*, Mosquera-Losada MR, Prabhu R (Eds). Burleigh Dodds Science Publishing: Cambridge, UK, 467–510.
- de Freitas IC, Ribeiro JM, Araújo NCA, Santos MV, Sampaio RA, Fernandes LA, Azevedo AM, Feigl BJ, Cerri CEP, Frazão LA. 2020. Agrosilvopastoral systems and well-managed pastures increase soil carbon stocks in the Brazilian Cerrado. *Rangel. Ecol. Manag.*, **73**: 776–785. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rama.2020.08.001>
- Diatta AA, Ndour N, Manga A, Sambou B, Faye CS, Diatta L, Goudiaby A, Mbow C, Dieng SD. 2016. Services écosystémiques du parc agroforestier à *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A. Rich.) Milne-Redh dans le Sud du Bassin Arachidier (Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **10**(6): 2511-2525. DOI: [10.4314/ijbcs.v10i6.9](https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i6.9)
- Dimobe K, Kuyah S, Dabré Z, Ouédraogo A, Thiombiano A. 2019. Diversity-carbon stock relationship across vegetation types in W National park in Burkina Faso. *For. Ecol. Manag.*, **438**: 243–254. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.02.027>
- FAO. 2002. La séquestration du carbone dans le sol pour une meilleure gestion des terres. Rapport sur les ressources en sols du monde 96, Rome, 70 p.
- FAO. 1997. *State of the World's Forest*. World End publication: Oxford, UK; 1-5.
- Glover JD, Reganold JP, Cox CM. 2012. Plant perennials to save Africa's soils. *Nature*, **489**: 359–361. DOI: <https://doi.org/10.1038/489359a>
- IPCC. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse Gas inventories. In: Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC), National Greenhouse Gas Inventories Programme. Online at <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- King KFS. 1987. The history of agroforestry. *Agrofor. Decade Dev.*, 1–11.
- Kooke GX, Ali RKFM, Djossou JM, Imorou IT. 2019. Estimation du stock de carbone organique dans les plantations de *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. des forêts classées de Pahou et de Ouèdo au Sud du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **13**: 277–293. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i1.23>
- Kürsten E. 2000. Fuelwood production in agroforestry systems for sustainable land use and CO<sub>2</sub>-mitigation. *Ecol. Eng.*, **16**: 69–72. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(00\)00054-9](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(00)00054-9)
- Kuyah S, Whitney CW, Jonsson M, Sileshi GW, Öborn I, Muthuri CW, Luedeling E. 2019. Agroforestry delivers a win-win solution for ecosystem services in sub-Saharan Africa. A meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.*, **39**: 1–18. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0589-8>
- Laouali A, Guimbo ID, Larwanou M, Inoussa MM, Mahamane A. 2014. Utilisation de *Prosopis africana* (G. et Perr.) Taub dans le sud du département d'Aguié au Niger : les différentes formes et leur importance. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **8**(3): 1991-8631. DOI: [10.4314/ijbcs.v8i3.20](https://doi.org/10.4314/ijbcs.v8i3.20)
- Ledo A, Smith P, Zerihun A, Whitaker J, Vicente-Vicente JL, Qin Z, McNamara NP, Zinn YL, Llorente M, Liebig M. 2020. Changes in soil organic carbon under perennial crops. *Glob. Change Biol.*, **26**: 4158–4168. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.15120>
- Loubota Panzou GJ, Doucet JL, Loumeto JJ, Biwole A, Bauwens S, Fayolle A. 2016. Biomasse et stocks de carbone des forêts tropicales africaines (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron.*

- Société Environ.*, **20**(4): 508-522. DOI: <https://hdl.handle.net/2268/203533>
- MEHU. 2011. Deuxième Communication Nationale de la République du Bénin sur les Changements Climatiques. Cotonou: Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme.
- Montagnini F, Nair PR. 2004. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. In *Advances in Agroforestry*, Nair PKR, Rao MR, Buck LE (eds). New Vistas in Agroforestry, 1; 281–295. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-94-017-2424-1\\_20](https://doi.org/10.1007/978-94-017-2424-1_20), 2004.
- Muchane MN, Sileshi GW, Gripenberg S, Jonsson M, Pumariño L, Barrios E. 2020. Agroforestry boosts soil health in the humid and sub-humid tropics: A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **295**: 106899. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106899>
- Muthee K, Duguma L, Majale C, Mucheru-Muna M, Wainaina P, Minang P. 2022. A quantitative appraisal of selected agroforestry studies in the Sub-Saharan Africa. *Heliyon.*, **8**: 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10670>
- Nair PR, Kumar BM, Nair VD. 2009. *An Introduction to Agroforestry : Four Decades of Scientific Developments*. Springer Cham. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-75358-0>
- Nath AJ, Sileshi GW, Laskar SY, Pathak K, Reang D, Nath A, Das AK. 2021. Quantifying carbon stocks and sequestration potential in agroforestry systems under divergent management scenarios relevant to India's Nationally Determined Contribution. *J. Clean. Prod.*, **281**: 124831. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124831>
- Palm CA, Woome PL, Alegre J, Arevalo L, Castilla C, Cordeiro DG, Hairiah K, Kotto Same J, Njomgang R, Ricse Tembladera A. 1999. Carbon sequestration and trace gas emissions in slash-and-burn and alternative land uses in the humid tropics. Report 39p. <http://162.248.52.172:8080/jspui/handle/inia/917>
- Paustian K, Collier S, Baldock J, Burgess R, Creque J, DeLonge M, Dungait J, Ellert B, Frank S, Goddard T. 2019. Quantifying carbon for agricultural soil management: from the current status toward a global soil information system. *Carbon Manag.*, **10**: 567–587. DOI: <https://doi.org/10.1080/17583004.2019.1633231>
- R Core Team Development. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2012. URL <http://www.R-Project.Org>.
- Rajput BS, Bhardwaj DR, Pala NA. 2015. Carbon dioxide mitigation potential and carbon density of different land use systems along an altitudinal gradient in north-western Himalayas. *Agrofor. Syst.*, **89**: 525–536. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9788-8>
- Samba SN, Faye E, Tala G, Hank M, Camire C. 2012. *Cordyla pinnata* améliore les propriétés du sol et la productivité des cultures. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **6**(2): 714-725. DOI: 10.4314/ijbcs.v6i2.15
- van Noordwijk M. 2019. *Sustainable Development through Trees on Farms: Agroforestry in its Fifth Decade*. World Agrofor. ICRAF Bogor Indones.
- Walakley A, Black CA. 1934. Estimation of organic carbon by chromic acid titration method. *Soil Sci.*, **37**: 29–38.
- Xu S, Sheng C, Tian C. 2020. Changing soil carbon: influencing factors, sequestration strategy and research direction. *Carbon Balance Manag.*, **15**: 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13021-020-0137-5>