

Sommaire / Contents

ENVIRONNEMENT ET TERRITOIRES ENVIRONMENT AND TERRITORIES

67-75 Variabilité des stocks de carbone du sol sous et hors houppier dans la zone sylvopastorale du Sénégal. *Variability of soil carbon stocks under and outside the tree crown in the sylvopastoral zone of Senegal.* N'Goran A.-J.A., Diouf A.A., Diatta S., Assouma M.H., Djagoun A.J., Assogba G.G.C., Cournac L., Chapuis-Lardy L., Blanfort V., Taugourdeau S. (en français)

SANTÉ ANIMALE ET ÉPIDÉMIOLOGIE ANIMAL HEALTH AND EPIDEMIOLOGY

77-85 Spatial distribution and assessment of biosecurity levels of pig farms in selected local government areas in Ogun State, Nigeria. *Distribution spatiale et évaluation des niveaux de biosécurité des exploitations porcines dans des zones de gouvernement local sélectionnées de l'Etat d'Ogun, au Nigeria.* Awoyomi O.J., Agbalu O., Oladipupo O.R., Adebowale O.O., Kehinde O.O., Awoyomi F.O., Tope-Ajayi O.O. (in English)

87-91 Résidus d'antibiotiques dans la viande bovine et les œufs vendus à N'Djaména et à Moundou (Tchad). *Antibiotic residues in beef and eggs sold in N'Djamena and Moundou (Chad).* Amine Alhadj S., Soudy Imar D., Zoli Pagnah A., Mouiche Mouliom M.M., Bagari Iya S. (en français)

ISSN 1951-6711

Publication du
Centre de coopération internationale
en recherche agronomique pour le développement
<http://revues.cirad.fr/index.php/REMVT>
<http://www.cirad.fr/>

Directrice de la publication / *Publication Director:*
Elisabeth Clavier de Saint Martin, PDG / *President & CEO*

Rédacteurs en chef / *Editors-in-Chief:*
Denis Bastianelli, Vincent Porphyre, Frédéric Stachurski

Rédacteurs associés / *Associate Editors:*
Christian Corniaux, Guillaume Duteurtre, Bernard Faye,
Flavie Goutard, Philippe Holzmüller

Coordinatrice d'édition / *Publishing Coordinator:*
Marie-Cécile Maraval

Secrétaire de rédaction / *Editorial Secretary:*
Carmen Renaudeau

Traductrices/*Translators:*
Marie-Cécile Maraval (anglais),
Anna Lon Quintana (espagnol)

Maquettiste/*Layout:* Alter ego communication, Aniane, France

COMITÉ SCIENTIFIQUE / *SCIENTIFIC ADVISORY BOARD*

Hassane Adakal (NER), Nicolas Antoine-Moussiaux (BEL),
Michel Doreau (FRA), Mohammed El Khasmi (MAR),
Philippe Lescoat (FRA), Hamani Marichatou (NER),
Ayao Missohou (SEN),
Harentsoaniaina Rasamoelina-Andriamanivo (MDG),
Jeremiah Saliki (USA, CMR), Jeewantee Sunita Santchurn (MUS),
Hakim Senoussi (DZA), Taher Srairi (MAR),
Hussaini Tukur (NGA), Jean Zoundi (BFA, FRA)



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

Cirad, Montpellier, septembre 2022

Variabilité des stocks de carbone du sol sous et hors houppier dans la zone sylvopastorale du Sénégal

Ange-Jokébed Adjoua N’Goran^{1,2,3*} Abdoul Aziz Diouf²
Sékouna Diatta³ Mohamed Habibou Assouma^{4,5}
Afolabi Juste Djagoun^{1,3} Gildas Géraud Comlan Assogba³
Laurent Cournac^{6,7} Lydie Chapuis-Lardy^{6,7}
Vincent Blanfort⁴ Simon Taugourdeau^{1,4}

Mots-clés

Evaluation des stocks de carbone, matière organique du sol, azote, savane, système sylvopastoral, Sahel

© A.-J.A. N’Goran et al., 2022



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

Submitted: 20 November 2020

Accepted: 3 September 2022

Published: 30 September 2022

DOI: 10.19182/remvt.36984

Résumé

Le système d'élevage pastoral est critiqué pour son impact environnemental en raison des fortes émissions de gaz à effet de serre par unité de produit et l'effet néfaste sur le sol et la végétation. Au Sénégal, le stock de carbone dans la végétation est suivi par le Centre de suivi écologique dans 24 sites du Sahel depuis 1987. Toutefois, le stock de C du sol, paramètre essentiel aux processus d'humification de la litière des arbres et de rhizodéposition des herbacées, n'est pas pris en compte. Cette étude visait à déterminer l'influence de l'arbre et des facteurs environnementaux sur les teneurs en C du sol. Ainsi, 15 sites de suivi du Centre ont été sélectionnés, et 480 échantillons de sol ont été prélevés à 0–10 cm et 10–30 cm de profondeur sous et hors houppier. Les teneurs en C et en N totales ont été prédites par spectroscopie proche infrarouge (SPIR) et les stocks de C et de N calculés à partir de 60 échantillons de sol prélevés sous et hors houppier. Une analyse en composantes principales a permis d'identifier les facteurs impliqués dans la variation des stocks de C. Ainsi, dans la zone sylvopastorale du Sénégal, ces stocks ont varié le long d'un gradient nord-sud ; ils ont été positivement corrélés à la pluviométrie, au taux de couverture arborée et à la biomasse. Ils ont varié entre 9,3 et 29,7 Mg C/ha à 10–30 cm. A une échelle plus fine, l'arbre a induit une augmentation des teneurs en C et en N sous houppier dans l'horizon 0–10 cm. Cette étude a montré que les stocks de C du sol peuvent servir à déterminer les besoins de compensation des émissions de C dans le Sahel à travers la plantation d'arbres.

■ Comment citer cet article : N’Goran A.-J.A., Diouf A.A., Diatta S., Assouma M.H., Djagoun A.J., Assogba G.G.C., Cournac L., Chapuis-Lardy L., Blanfort V., Taugourdeau S., 2022. Variability of soil carbon stocks under and outside the tree crown in the sylvopastoral zone of Senegal. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 75 (3): 67-75, doi: 10.19182/remvt.36984

■ INTRODUCTION

L'élevage constitue une importante source alimentaire. Sur le plan mondial, il fournit le tiers des protéines alimentaires humaines et

représente 40 % de la valeur de la production agricole brute mondiale (Lecomte et Blanfort, 2013). Dans les pays sahéliens, l'élevage et en particulier le système pastoral, représente jusqu'à 50 % de la production de viande et 70 % de la production de lait (Gerber et al., 2012). En effet, la présence d'un climat aride à semi-aride et d'une végétation naturelle irrégulière instaure le pastoralisme comme le système de production le mieux adapté à cette zone (Gerber et al., 2012). Ce système de production, qui repose essentiellement sur la mobilité des animaux, exploite les pâturages naturels qui constituent la base de leur alimentation (Akpo et al., 2003). Ces parcours naturels sont formés d'une végétation herbacée continue et d'une strate arborée et arbustive plus ou moins épaisse (Akpo et Grouzis, 2000). Au Sénégal par exemple les pâturages naturels sont l'occupation du sol majoritaire dans le nord et l'est du pays.

Néanmoins, à l'instar de l'élevage à l'échelle mondiale, ces systèmes sont souvent critiqués pour leurs impacts sur le climat (Gerber et al., 2013). En effet, les systèmes pastoraux étant très peu productifs, leurs

1. CIRAD, UMR SELMET, PPZS (Dryland and Pastoralism), Dakar, Sénégal.
2. Centre de suivi écologique (CSE), Dakar, Sénégal.
3. UCAD FST, Département biologie végétale, Dakar, Sénégal.
4. CIRAD, UMR SELMET, F-34398 Montpellier, France. SELMET, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France.
5. CIRAD, UMR SELMET, DP ASAP (systèmes agro-sylvo-pastoraux en Afrique de l'Ouest), Bobo Dioulasso, Burkina Faso.
6. Eco&Sols, Univ Montpellier, CIRAD, INRAE, Institut Agro, IRD, Montpellier, France.
7. LMI IESOL, Dakar, Sénégal.

* Auteur pour la correspondance
Email : jokebedngoran@gmail.com

émissions rapportées à la production (en kilogramme de viande ou litre de lait) sont parmi les plus importantes du monde (Gerber et al., 2013 ; Assouma et al., 2014). Cependant, ces émissions pourraient être compensées à partir d'un stockage de carbone par les écosystèmes pastoraux afin d'équilibrer le bilan carbone (Assouma et al., 2019). De par l'activité photosynthétique des plantes, la présence de la végétation sur le sol favorise l'absorption à long terme, bien que lente, du dioxyde de carbone issu de l'atmosphère (Noble et al., 2000 ; Steinfeld et al., 2009 ; Blanfort et Stahl, 2013). Des études ont été réalisées pour déterminer les teneurs en carbone (C) et azote (N), et les stocks de C du sol dans quelques zones du Ferlo et les Niayes sénégalais (Woomer et al., 2004 ; Akpo et al., 2005 ; Marone et al., 2017). Marone et al. (2017) montrent que le stockage de C se fait en fonction du mode d'utilisation des sols avec, selon Woomer et al. (2004), près de 60 % du stock de C du sol contenu dans les 20 premiers centimètres. La composition en espèces de la végétation est le principal déterminant de la qualité de la litière produite dans l'écosystème et des stocks de C. Cette composante détermine le niveau d'activité des organismes du sol responsables de la décomposition de la matière organique, qui influence donc le taux de libération des nutriments dans le milieu (C et N).

Cependant, ces zones d'études sont représentatives d'une partie seulement de la zone pastorale du Sénégal. Il est important d'appréhender la variabilité spatiale de ces stocks pour ensuite évaluer le bilan carbone de l'élevage à l'échelle nationale. La présence des arbres dans cette zone pourrait par ailleurs présenter de multiples avantages dont le stockage de la matière organique dans le sol (Bernhard-Reversat, 1982 ; Weltzin et Coughenour, 1990 ; Wezel et al., 2000). L'objectif principal de cette étude a été de déterminer l'influence de la strate ligneuse sur les teneurs en C et en N du sol. Secondairement, ce travail a cherché à identifier les facteurs environnementaux (taux de couverture, biomasses arborée et herbacée, pluviométrie, et types de sol) influençant la variation des stocks de C et de N dans la zone sylvo pastorale du Sénégal. Les hypothèses de ces travaux ont été, d'une part, que l'arbre entraîne une augmentation des teneurs et stocks de C sous les arbres et, d'autre part, qu'il crée une hétérogénéité spatiale du stock de C dans le sol au sein des parcours pastoraux du Sénégal.

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude

L'étude a été menée sur 15 sites du Centre de suivi écologique (CSE) établis pour le suivi de la biomasse végétale au Sénégal. Ces sites sont situés dans cinq écorégions selon le découpage de Tappan et al. (2004) (figure 1), avec une pluviométrie annuelle qui varie entre 150 mm et 800 mm (tableau I). Ils hébergent différents types de sols (Jones et al., 2013) : Arénosols, Acrisols, Cambisols, Gleysols, Lixisols, Régosols et Vertisols (IUSS-WRB, 2015). La végétation est composée de steppes d'arbustes, et de savanes arborée et arbustive relativement denses (le matériel supplémentaire I liste les espèces présentes sur les sites).

Prélèvement et préparation des échantillons de sol

Les échantillons de sol ont été prélevés suivant la méthode du point centré quadrant (Clark et Evans en 1954) à deux profondeurs : de 0 à 10 cm et de 10 à 30 cm. Sur chaque site de 900 ha chacun nous avons identifié des placettes de 20 m de rayon, situées à 200 m et 600 m, suivant un transect de 1000 m prédéfini par le CSE, pour permettre le suivi annuel de la biomasse. Ensuite, la perpendiculaire au transect passant par le centre de la placette a été tracée à l'aide d'un double décimètre (figure 2). De façon aléatoire, deux prélèvements ont été effectués hors houppier par profondeur des quatre côtés formés par la perpendiculaire et la ligne du transect à l'aide d'une truelle et d'une tarière. Pour ces points hors houppier, une distance d'au moins 10 m des arbres a été considérée pour minimiser l'impact du couvert arboré. Les échantillons prélevés ont été mélangés par quadrant et par profondeur pour obtenir un échantillon composite par profondeur et par point de mesure. Ensuite dans chacun des quatre quadrants, l'arbre le plus proche du centre de la placette, d'une hauteur supérieure à 3 m, a été choisi (figure 2). Sous chaque arbre, quatre prélèvements ont été effectués dans les quatre directions (nord, sud, est et ouest) à la distance de la demi-couronne (rayon divisé par 2). A l'instar des prélèvements hors houppier, les prélèvements obtenus sous houppier ont

Figure 1 : Localisation des sites de l'étude dans la zone sylvo pastorale du Sénégal. Sources : CSE, points de collecte ; Tappan et al., 2004, zones écologiques // Location of study sites in the sylvo pastoral zone of Senegal. Sources: CSE, collection sites; Tappan et al., 2004, ecological areas

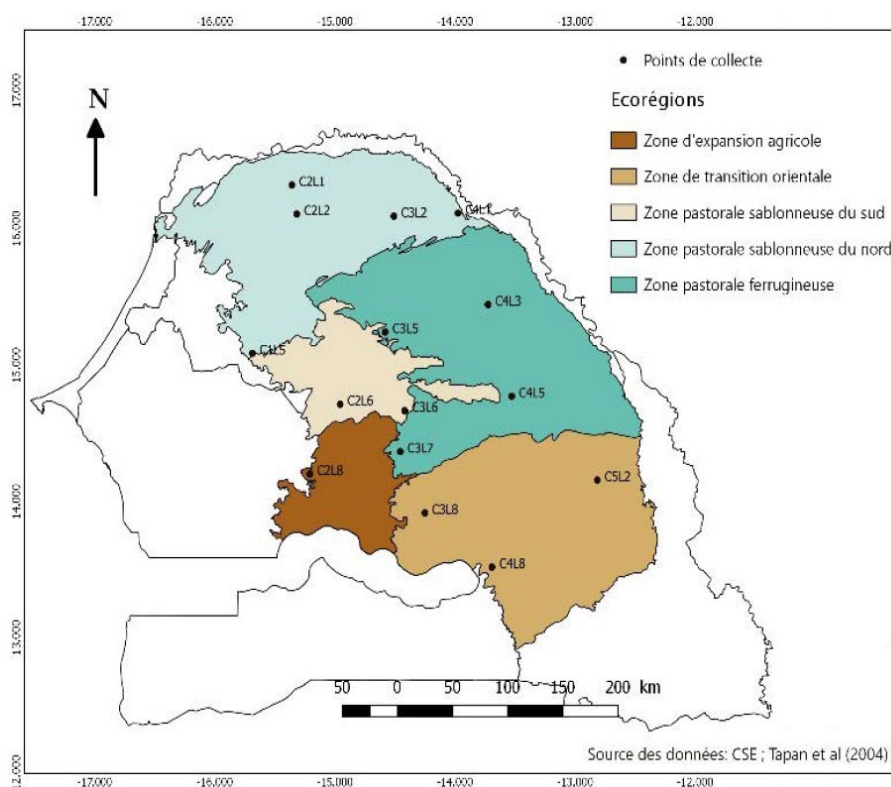
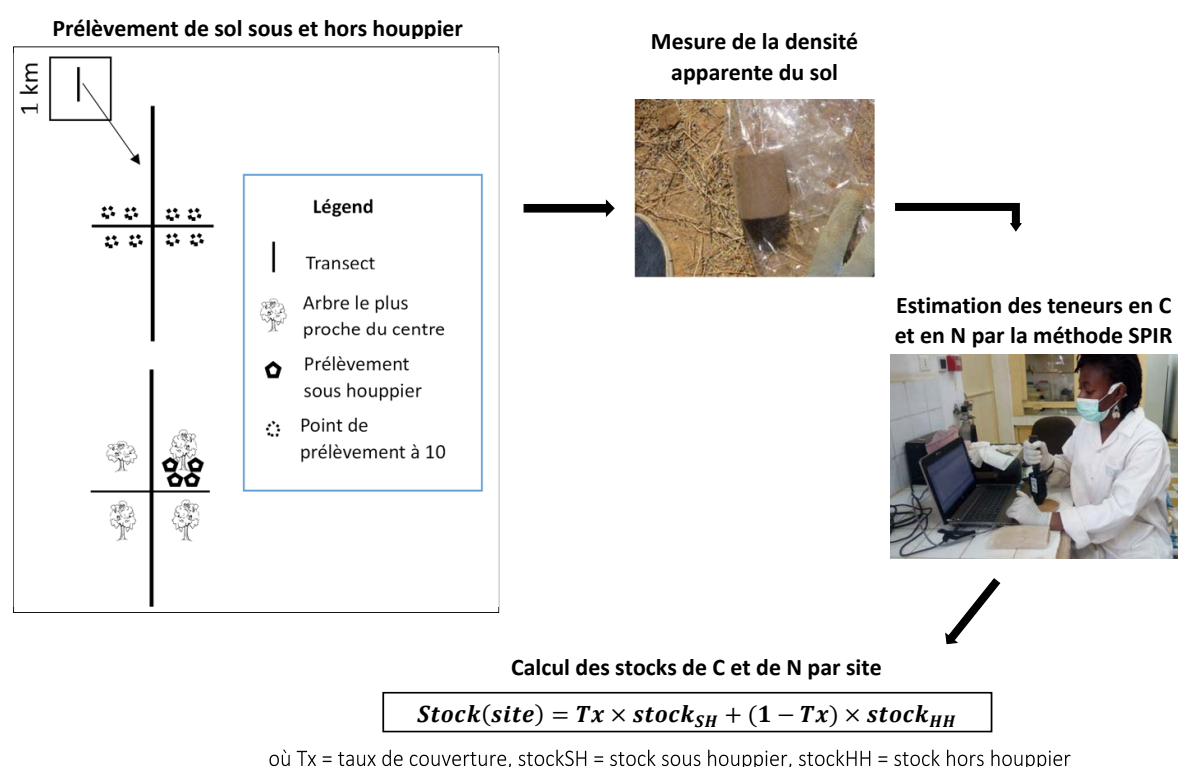


Tableau 1 : Description des sites selon la classification de Tapan et al. (2004) et IUSS-WRB (2015) // *Description of sites according to Tapan et al. (2004) and IUSS-WRB (2015) classification*

Région	Pluviométrie	Type de sol	Végétation prédominante	Site
Région pastorale sablonneuse du nord	150–300 mm	Arénosol	Steppes d'arbustes et prairies	C1L5, C2L1, C2L2, C3L2, C4L1
Région pastorale sablonneuse du sud	300–500 mm	Acrisol, Cambisol	Arbustes et savanes arborées	C2L6, C3L6
Région pastorale ferrugineuse	300–600 mm	Arénosol, Lixisol, Acrisol	Savanes arbustives et sols nus, souvent relativement denses	C3L5, C3L7, C4L3, C4L5
Région de transition orientale	500–600 mm	Vertisol, Gleysol, Acrisol	Savanes arborées et savanes boisées avec de petites zones de production agricole	C3L8, C4L8, C5L2
Région d'expansion agricole	500–800 mm	Vertisol	Arbustes et arbres dégradés, légèrement plus denses dans le sud ; occupation agricole dans les larges vallées et terrasses	C2L8

**Figure 2 :** Représentation de l'étape méthodologique de l'étude des teneurs et stocks de C et de N dans la zone sylvo pastorale du Sénégal // *Representation of the methodological stage of the study of C and N contents and stocks in the sylvo pastoral area of Senegal*

été mélangés dans des bassines pour obtenir un échantillon composite par profondeur et par arbre.

Au total, 480 échantillons ont été prélevés correspondant à 15 sites x 2 types de couvert (sous houppier, hors houppier) x 2 profondeurs x 8 répétitions. Le sol a ensuite été séché à l'air, puis tamisé à 2 mm pour la préparation des échantillons à passer à la spectroscopie proche infrarouge (SPIR).

Détermination de la densité apparente

Soixante prélèvements de sol correspondant à 15 sites x 2 types de couverts x 2 profondeurs ont été réalisés à l'aide d'un cylindre de 100 cm³ et 5 cm de hauteur (figure 2). Nous avons supposé que les densités apparentes (Da) mesurées à 2,5–7,5 cm et 17–22 cm étaient représentatives respectivement des da à 0–10 cm et 10–30 cm. Etant donné la friabilité du sol durant la saison sèche, le sol a été humidifié

avec de l'eau pour faciliter son prélèvement. Les échantillons ont ensuite été séchés à l'étuve à 105 °C pendant 48 h avant d'être pesés pour déterminer leur poids sec rapporté au volume du cylindre (g/cm³). La masse volumique apparente (ou Da) correspond à la mesure de la masse du sol par unité de volume et est calculée selon la formule de Iris (1986) :

$$Da \text{ (g/cm}^3\text{)} = m/v \text{ (Equation 1)}$$

où *m* est la masse sèche du sol (en g) et *v* le volume du sol équivalent au volume du cylindre (en cm³).

Estimation des teneurs en carbone et en azote totales du sol

Les 480 échantillons de sol tamisés à 2 mm ont été tous scannés avec un spectrophotomètre portable LabSpec 4 Standard-Res Lab Analyzer pour collecter leurs données spectrales. La réflectance diffuse

a été mesurée dans la gamme spectrale de 350 à 2500 nm à 1 nm d'intervalle. Les données spectrales ont été enregistrées sous forme d'absorbance (A) selon l'équation de Cambou et al. (2016) :

$$A = \log 1/R \text{ (Equation 2)}$$

où R est la réflectance.

Par la suite, les teneurs en C et en N totales des échantillons ont été estimées à l'aide du modèle de prédiction des teneurs en C et N des sols, développé par Assouma et al. (2019). Ce modèle, où N calibration = 116, N validation = 55, $R^2_{\text{val}} = 0,89$, $RPD = 2,96$ (RPD : ratio de l'écart-type sur l'erreur standard de la prédiction corrigée par le biais), a été établi avec des valeurs de références issues des sols prélevés entre 0 et 30 cm de profondeur autour du forage de Widou et du Centre de recherche zootechnique (CRZ) de Dahra dans le Nord Sénégal. La base de calibration d'Assouma et al. (2019) ne couvrant pas tous les types de sols et la diversité des spectres de notre zone d'étude, une sélection de 63 échantillons complémentaires parmi ceux prélevés sur le terrain à analyser a été réalisée pour tester la qualité de la calibration et elle a par ailleurs permis d'enrichir la base de calibration. Cette base de données a été divisée en deux groupes : un groupe d'échantillons qui a servi au développement des calibrations, un autre pour la validation. Différentes méthodes de prétraitements ont été testées et le modèle de calibration avec le meilleur RPD a été retenu. Les teneurs en C et N totales de ces échantillons tamisés à 2 mm ont été analysées par combustion sèche avec un analyseur élémentaire (Thermo Fisher Scientific CHN NA2000, Waltham, MA, USA).

Etude de la variabilité des stocks totaux

Selon la formule développée par Don et al. (2007), le calcul du stock de C prend en compte la teneur en C, la profondeur du sol, la D_a et le taux de terre fine obtenu après tamisage du sol à 2 mm. Dans les échantillons étudiés, les éléments de taille supérieure à 2 mm représentaient moins de 1 % de la masse de chaque échantillon de sol et ont donc été considérés comme négligeables ($TF = 1$). Les stocks sous houppier (SH) et hors houppier (HH) ont été calculés selon la formule de Don et al. (2007) :

$$\text{Stock (SH ou HH)} = \sum_{i=1}^2 D_{a_i} \times C_{t_i} \times P_i \times TF \text{ (Equation 3)}$$

où D_{a_i} est la densité apparente par site (g/cm^3), C_{t_i} la teneur en C du sol (mg/g), P_i l'épaisseur (1 = 10 cm ; 2 = 30 cm), et TF le taux de terre fine ($TF = 1$).

Par ailleurs, les stocks totaux, aussi bien pour C que pour N des sites, ont été calculés en rapportant la valeur des stocks sous et hors houppier au taux de couverture arborée des sites selon la formule :

$$\text{Stock(site)} = Tx \times \text{stock}_{SH} + (1 - Tx) \times \text{stock}_{HH} \text{ (Equation 4)}$$

où Tx correspond au taux de couverture (%), stock_{SH} au stock sous houppier (t/ha) et stock_{HH} au stock hors houppier (t/ha).

Ainsi, nous avons calculé les stocks de C sous et hors houppier, et les stocks totaux de C par site. Ensuite, sur la base des stocks totaux calculés, un krigeage de variogramme linéaire d'équation $15,25 + 6,67.10^{-5}x$ avec un R^2 de 80,6 (où x représente la distance entre les stocks totaux) a été effectué à partir des logiciels de cartographie SAGAGis et QGIS version 3.0.2 pour obtenir une projection des moyennes de stocks à travers la zone sylvopastorale.

Analyses statistiques

Le traitement des données a consisté à vérifier la significativité statistique des différences observées sous et hors houppier entre les différents sites pour les teneurs en C et N, et les stocks de C et N. Le test t de Student au seuil de 5 % a permis de comparer les teneurs observées en fonction des profondeurs. Les facteurs environnementaux considérés ont été les taux de couverture, la biomasse arborée et

herbacée, les types de sol, et la pluviométrie (tableau II). Pour déterminer l'impact de ces derniers sur les stocks sous et hors houppier et le stock total par site (mat. suppl. II), une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R version 3.4.2.

Tableau II : Facteurs environnementaux dans la zone sylvopastorale du Sénégal /// *Environmental factors in the sylvopastoral area of Senegal*

Site	Long.	Lat.	Tx couv	Biomasse	Pluvio.	Sol
C1L5	42°36'	1°40'	7,8	2620	433	Arénosol
C2L1	46°10'	1°48'	9,3	980	283	Arénosol
C2L2	46°35'	1°46'	7,3	1635	283	Arénosol
C3L2	55°14'	1°46'	8,8	1422	292	Arénosol
C4L1	60°57'	1°46'	9,6	796	298	Arénosol
C2L6	50°35'	1°37'	21,9	3229	565	Acrisol
C3L6	56°15'	1°37'	19,4	3317	574	Cambisol
C3L5	54°29'	1°41'	34,8	2240	461	Arénosol
C3L7	55°51'	1°35'	24,8	4063	692	Lixisol
C4L3	63°40'	1°42'	55,7	1752	480	Arénosol
C4L5	65°50'	1°38'	21,2	3764	590	Acrisol
C3L8	58°04'	1°32'	28,2	4592	836	Gleysol
C4L8	64°09'	1°29'	58,8	4675	828	Acrisol
C5L2	73°35'	1°33'	54,6	4187	719	Vertisol
C2L8	47°45'	1°34'	26,2	4003	675	Vertisol

Long. : longitude ; Lat. : latitude ; Tx couv : taux de couverture arborée (%), CSE ; Biomasse : biomasse arborée et herbacée moyenne de 2010 à 2016 en kg de matière sèche / ha, CSE ; Pluvio. : pluviométrie moyenne de 1964 à 2014 en mm/an, HarvestChoice ; Sol : types de sol d'après Jones et al. (2013) selon la classification de IUSS-WRB (2015) /// Long.: longitude; Lat.: latitude; Tx couv: tree cover rate (%), CSE; Biomass: average tree and grass biomass from 2010 to 2016 in kg dry matter / ha, CSE; Pluvio.: average rainfall from 1964 to 2014 in mm/year, HarvestChoice; Soil: soil types from Jones et al. (2013) according to IUSS-WRB (2015) classification

■ RESULTATS

Comparaison des teneurs en C et N sous houppier et hors houppier

Les données des teneurs en carbone et azote sont disponibles dans le matériel supplémentaire III. Les teneurs moyennes en C sous et hors houppier ont été respectivement de $4,2 \pm 1,2$ et $3,3 \pm 1,1$ g.kg^{-1} à 0–10 cm de profondeur, et de $3,3 \pm 1,3$ et $2,8 \pm 1,2$ g.kg^{-1} à 10–30 cm de profondeur (figure 3). Les teneurs en C ont été significativement plus élevées sous houppier que hors houppier à 0–10 cm ($p = 2,51.10^{-9}$). Pour N, les teneurs moyennes sous et hors houppier ont été respectivement de $0,4 \pm 0,1$ g.kg^{-1} et $0,3 \pm 0,1$ g.kg^{-1} à 0–10 cm de profondeur, et de $0,3 \pm 0,1$ g.kg^{-1} et $0,2 \pm 0,1$ g.kg^{-1} à 10–30 cm de profondeur. Les teneurs en N ont été significativement plus élevées sous houppier que hors houppier à 0–10 cm ($p = 3,32.10^{-10}$). Le rapport C/N des sols sous et hors houppier n'a pas différé significativement au niveau de la profondeur de prélèvement 0–10 cm contrairement à celui des prélèvements à 10–30 cm. En effet, C/N a été significativement plus faible sous houppier que hors houppier à la profondeur 10–30 cm.

Stocks calculés

Les données des D_a par site en fonction de la profondeur sous et hors houppier sont disponibles dans le matériel supplémentaire IV. Elles ont varié en fonction des sites et de la profondeur et ont été en moyenne comprises entre 1,7 et 2,2 g.cm^{-3} . Sous houppier elles ont varié entre 1,7 g.cm^{-3} et 2 g.cm^{-3} à 0–10 cm, et entre 1,7 g.cm^{-3} et 2,2 g.cm^{-3}

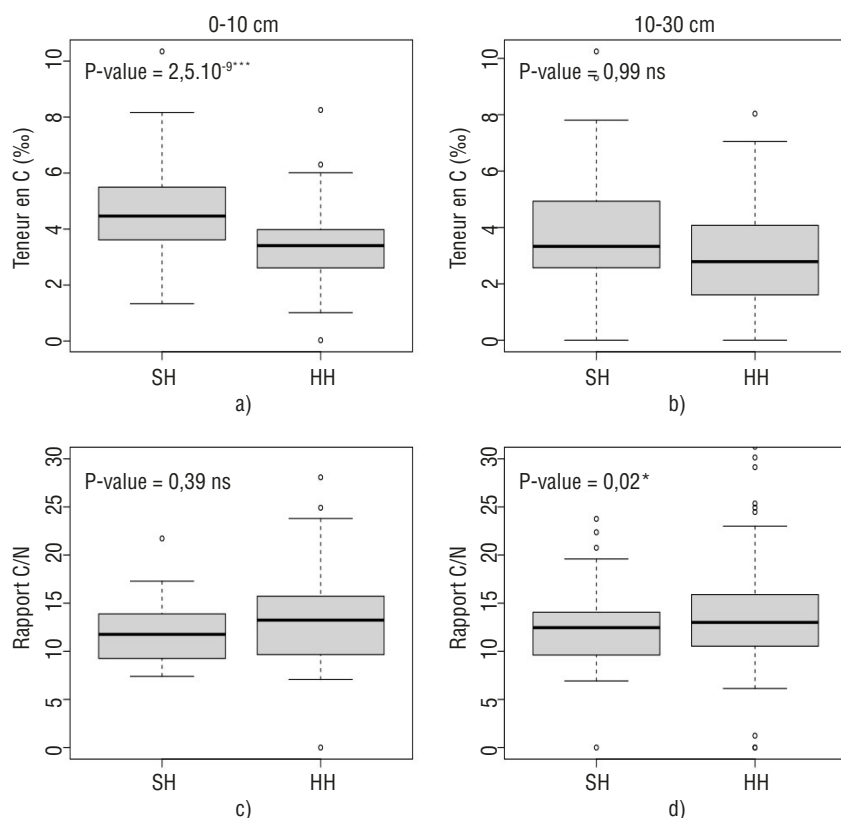


Figure 3 : Différences sous houppier (SH) et hors houppier (HH) des teneurs en C et du rapport C/N du sol à 0–10 cm (a et c) et 10–30 cm (b et d) de profondeur dans la zone sylvo-pastorale du Sénégal /// Differences in soil C content and C/N ratio at 0–10 cm (a and c) and 10–30 cm (b and d) depths in the sylvo-pastoral area of Senegal under the tree crown (SH) and outside the tree crown (HH)

à 10–30 cm. Hors houppier, elles ont varié entre $1,8 \text{ g.cm}^{-3}$ et 2 g.cm^{-3} à 0–10 cm, et entre $1,7 \text{ g.cm}^{-3}$ et $2,2 \text{ g.cm}^{-3}$ à 10–30 cm.

Les stocks moyens de C sous houppier, hors houppier et totaux ont été respectivement de $22,1 \pm 5,2 \text{ Mg C/ha}$, $17,6 \pm 7,8 \text{ Mg C/ha}$, et $18,5 \pm 6,0 \text{ Mg C/ha}$. Les stocks de C à 0–30 cm ont été compris entre 9,3 et $29,7 \text{ Mg C/ha}$ (mat. suppl. II). Pour la majorité des sites, les stocks de C sous houppier ont été supérieurs aux stocks hors houppier (figure 4). Toutefois, les sites C3L5 et C3L7 ont présenté une tendance contraire avec des stocks sous houppier inférieurs aux stocks hors houppier.

En tenant compte des coefficients de corrélation (tableau III) et de l'ACP (figure 5) les stocks de C hors houppier ont été significativement corrélés avec le taux de couverture en arbre, la biomasse totale et la pluviométrie. De même, les rapports des stocks de C sur les stocks de N hors houppier, sous houppier et totaux ont été significativement corrélés avec la pluviométrie et la biomasse. A l'échelle

de la zone sylvo-pastorale du Sénégal, le stock de C a évolué selon un gradient nord-sud (figure 6).

La figure 7 présente les stocks totaux en fonction des amplitudes pluviométriques 150–300 mm (5 sites : C1L5, C2L1, C2L2, C3L2, C4L1), 300–600 mm (6 sites : C2L6, C3L6, C3L5, C3L7, C4L3, C4L5), 500–800 mm (4 sites : C3L8, C4L8, C5L2, C2L8). Cette figure montre que les stocks totaux les plus élevés ont été notés dans l'amplitude pluviométrique la plus élevée. Inversement, les stocks les moins élevés ont été observés dans celle la plus faible.

DISCUSSION

Influence des arbres sur les teneurs en C et N

Les teneurs moyennes à 0–10 cm en C et N (respectivement $4,2 \pm 1,2 \text{ g.kg}^{-1}$ et $0,4 \pm 0,1 \text{ g.kg}^{-1}$ sous houppier) ont été du même ordre de

Tableau III : Coefficients de corrélations entre les stocks de la zone sylvo-pastorale du Sénégal et les facteurs environnementaux /// Correlation coefficients between stocks in the sylvo-pastoral area in Senegal and environmental factors

Facteurs	Stock C			Stock C / stock N		
	HH	SH	Totaux	HH	SH	Totaux
Longitude	0,31*	0,39*	0,44*	0,03	0,11	0,05
Latitude	0,36*	0,11	0,38*	0,48	0,80	0,70
Taux de couverture	0,32*	0,15	0,42*	0,26	0,28	0,24
Biomasse	0,31*	0,12	0,33*	0,41*	0,78	0,65
Pluviométrie	0,39*	0,12	0,41*	0,50*	0,77	0,69

SH : sous houppier ; HH : hors houppier ; * R^2 significatif à 5 % /// SH : under the tree crown ; HH : outside the tree crown ; * R^2 significant at 5%

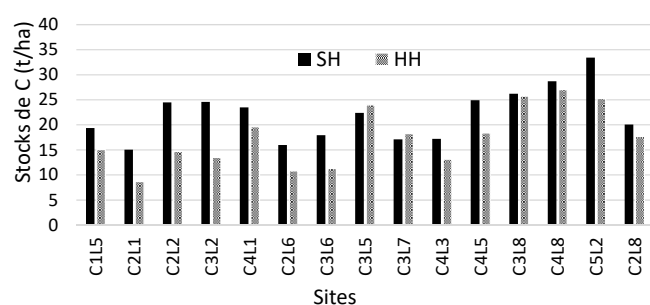


Figure 4 : Stocks de carbone du sol sous houppier (SH) et hors houppier (HH) en fonction des sites de l'étude dans la zone sylvo-pastorale du Sénégal /// Soil carbon stocks under the tree crown (SH) and outside the tree crown (HH) according to the study sites in the sylvo-pastoral zone of Senegal

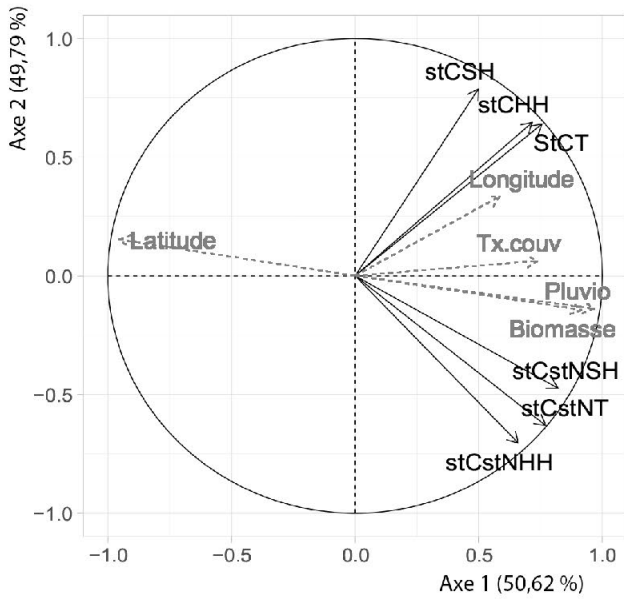


Figure 5 : Analyse en composante principale sur les données de stocks et les facteurs environnementaux de la zone sylvo-pastorale du Sénégal ; stC.SH : stock de C sous houppier ; stCHH : stock de C hors houppier ; stCT : stock total de C ; stCstNSH : rapport stock de C et stock de N sous houppier ; stCstNHH : rapport stock de C et stock de N hors houppier ; stCstNT : rapport stock C et stock de N totaux ; stC.SH : under the tree-crown C stock ; stCHH : outside the tree-crown C stock ; stCT : total C stock ; stCstNSH : C stock to N stock ratio under the tree crown ; stCstNHH : C stock to N stock ratio outside the tree crown ; stCstNT : total C stock to N stock ratio

grandeur que celles observées par Assouma et al. (2017) à Widou au nord de la zone sylvo-pastorale du Sénégal. Nos résultats montrent que les teneurs en C et en N ont été significativement plus élevées sous houppier que hors houppier. L'écart a été plus prononcé au niveau de l'horizon de surface 0–10 cm. Cela pourrait s'expliquer par une teneur en matière organique du sol (MOS) plus élevée sous le houppier que hors houppier en raison en partie de la production de litière par l'arbre. En effet, les nutriments récupérés par l'arbre sont retournés au sol par la litière des feuilles, des tiges et des racines (Belsky et al., 1989 ; Claude et al., 1991). La MOS peut aussi être liée aux apports de fèces d'animaux (avifaune et ruminants) sous les arbres lorsqu'ils s'y installent pour bénéficier de l'ombre. Cela révèle une influence positive majoritaire sur le sol des arbres par rapport aux herbacées, qui pourrait favoriser une meilleure fertilité des sols sous houppier qu'en dehors. Ce constat a également été fait dans la zone sylvo-pastorale du Ferlo au nord du Sénégal par Akpo et al. (2005), au Kenya par Belsky et al. (1989), et au Burkina Faso par Kessler (1992).

De plus, l'étude du rapport C/N couplée au taux élevé des teneurs en N suggère une décomposition microbienne des matières organiques du sol plus élevée sous les arbres. Cette activité biologique entraînerait une augmentation de la production primaire, et de la litière aérienne et souterraine sous les arbres. Akpo et al. (2005) soulignent également de meilleures propriétés chimiques du sol sous les arbres dans la zone sylvo-pastorale septentrionale.

Par ailleurs, l'influence du type de végétation sur les teneurs en C organique du sol a été observée par Jobbágy et Jackson (2000). Ils montrent que la distribution du C organique du sol a une corrélation plus forte avec le type de végétation qu'avec le type de sol. Cette hypothèse pourrait expliquer la présence sur certains sites de teneurs en C

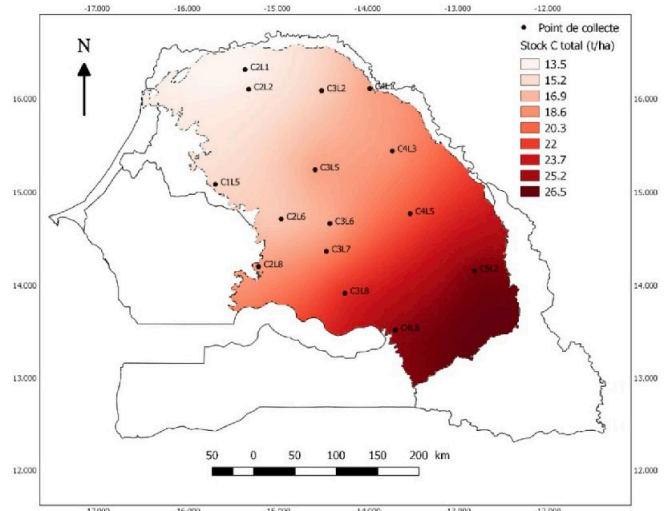


Figure 6 : Variabilité spatiale des stocks totaux de C dans la zone sylvo-pastorale du Sénégal // Spatial variability of total C stocks in the sylvo-pastoral area of Senegal

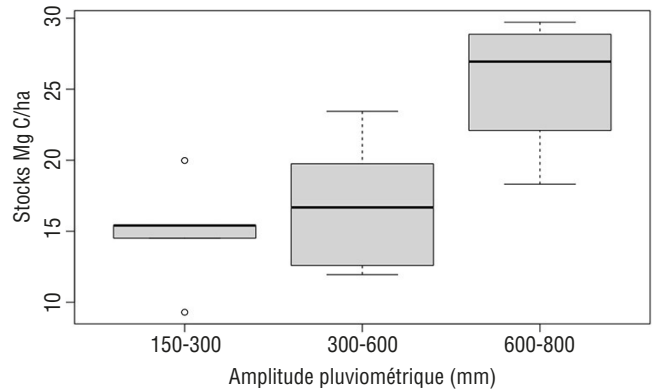


Figure 7 : Stocks de C totaux en fonction de l'amplitude pluviométrique à travers la zone sylvo-pastorale du Sénégal // Total C stocks according to rainfall range across the sylvo-pastoral area of Senegal

et en N inférieures sous houppier qu'en dehors (C4L5 et C4L8 ; mat. suppl. III). Cela pourrait également être dû à une couverture herbacée sous l'arbre plus faible que hors houppier sur ces sites entraînant une accumulation de MOS sous houppier plus faible qu'en dehors. En effet, relevant l'importance de la strate herbacée dans la production de MOS, Bernhard-Reversat (1982) a constaté une accumulation de MOS sous houppier plus petite que hors sur des sites où la couverture herbacée sous les arbres était plus faible que hors houppier.

Influence des arbres sur les stocks de carbone

En général, les stocks de C ont été plus élevés sous houppier que hors houppier avec deux sites sur 15 où une tendance contraire a été observée. Comparativement aux 13 autres, ces deux sites présentent à la fois une strate arborée monospécifique (*Pterocarpus lucens* pour C3L5 et *Combretum glutinosum* pour C3L7) et des stocks de N sous houppier égaux aux stocks hors houppier. De plus selon la description de Tappan et al. (2004) ces sites se trouvent dans une écorégion significativement affectée par la sécheresse et l'augmentation des sols dégradés (0,3 % en 1965 à environ 4,5 % en 1999). Cela révèle que la variation du stock de C peut être liée aux facteurs du sol et à la composition de la strate arborée. En effet, la variabilité spatiale du C

organique du sol est fonction des conditions du sol qui déterminent les taux de décomposition de la matière organique mais aussi de la composition de la canopée (Yuan et al., 2013). En outre, les résultats de stocks reflètent les mêmes tendances que les teneurs en C et en N organiques des sols. Melillo et al. (1982) montrent que la grande disponibilité de N sous les arbres semble favoriser une augmentation du taux de biodégradation de la litière et de la MOS entraînant donc un meilleur stockage du C. Bernhard-Reversat (1982) montre également que l'arbre induit l'accumulation des graines apportées par le vent sous les arbres près du tronc entraînant une augmentation de la production d'herbes responsables de la MO du sol. Cette augmentation de la masse végétale épigée entraîne une augmentation du remplacement (*turnover*) racinaire qui induit une augmentation du stockage de la MOS et donc du C organique du sol (Flaig, 1976).

Variabilité spatiale des stocks de carbone

La valeur de stock de C total observée (18,5 Mg C/ha) a été du même ordre de grandeur que celle obtenue dans la zone de parcours désertiques et buissonnants selon la classification de Henry et al. (2009), et celle trouvée par Woome et al. (2004) (respectivement 15,4 Mg C/ha et 17,2 Mg C/ha). Comparativement à l'étude de ces derniers auteurs, l'étendue des stocks de C à travers le Sénégal est du même ordre de grandeur avec 11,6 à 25,3 Mg C/ha dans leur étude, et 9,3 à 29,7 Mg C/ha dans notre étude. Il faut cependant noter que leurs données ont été obtenues avec une profondeur de 40 cm contre 30 cm dans notre étude. La variation des stocks de C du sol a été liée à un gradient nord-sud des facteurs environnementaux car les fluctuations des précipitations influencent la densité des arbres feuillus (Hiernaux et al., 1994) et la productivité des pâturages sahéliens (Penning de Vries et Djitéye, 1982). De meilleures propriétés chimiques du sol déjà observées sous les arbres dans la zone sylvo pastorale septentrionale (Akpo et al., 2005) et un microclimat sous couvert forestier peuvent induire une plus grande activité microbienne du sol (Diallo et al., 2017). Toutefois l'étendue des stocks montre que la moyenne est égale à deux fois le stock minimum, et le stock maximum fait environ trois fois le stock minimum révélant ainsi une variabilité des stocks à travers la zone sylvo pastorale. A l'échelle du site, Marone et al. (2017) montrent une variation des stocks en fonction des types de végétation dans les Niayes au Sénégal : les jachères stockent plus de carbone dans le sol que les parcours naturels et les parcs arborés.

Il ressort de tout ce qui précède que le type de végétation influence les teneurs et les stocks en C organique du sol. Cette hypothèse n'a pas été testée dans cette étude. Toutefois, une reprise des mesures prenant en compte un inventaire du type de végétation et de la quantité de biomasse au niveau des points de mesure aiderait à la vérifier. De même, les travaux sur le bilan carbone de l'élevage d'Assouma et al. (2019) effectués dans la zone nord-ouest de la zone pastorale (zone présentant le moins de stocks de C dans cette étude) suggèrent l'importance de répliquer ces travaux dans des zones variées afin de tenir compte de la variabilité des écosystèmes pâturés.

CONCLUSION

Ces résultats montrent que les teneurs moyennes en C et en N sont supérieures sous houppier par rapport à celles mesurées hors houppier. Toutefois, certains sites ont présenté une tendance inverse. La même tendance a été observée au niveau des stocks de C organique du sol. En effet, les stocks de C sont de façon générale plus élevés sous les houppiers des arbres avec des sites présentant l'effet contraire. Plusieurs variables expliquent les différences de stocks entre sites : la position géographique qui implique des variations pluviométriques (gradient nord-sud) et un taux de couverture arborée plus important au sud. La plantation d'arbres en zone pastorale pourrait donc influencer le bilan carbone de ces espaces pastoraux. Cette étude propose une estimation des stocks de C dans une zone tropicale emblématique et peut constituer une base de l'évaluation des possibilités de compensation des émissions de C dans le Sahel à travers la plantation d'arbres. Les présents résultats pourraient être consolidés par des dispositifs de mesures sur un plus grand nombre de sites où seraient intégrés l'inventaire de la végétation, la durée de présence des animaux et/ou la collecte régulière des fèces sous les houppiers. Ces répétitions permettraient de tenir compte de la variabilité de recouvrement, des diverses espèces d'herbacées et de ligneux présentes, et de la dynamique du stock de C dans le sol.

Déclaration des contributions des auteurs

AJAN, ST, AAD, LCL, LC et MHA ont contribué à la conception de l'étude, à la collecte des données, à l'analyse et interprétation des données, à la rédaction de la première version du manuscrit, et à la révision critique du manuscrit. AJD a contribué à toutes ces activités excepté la conception de l'étude et la révision critique du document. GGCA a contribué au traitement des données. SD et VB ont essentiellement participé à la rédaction de la première version et à la révision critique du manuscrit.

Conflits d'intérêts

Cet article a été rédigé sans conflit d'intérêts.

Remerciements

Les auteurs remercient le pôle Pastoralisme et zones sèches en Afrique de l'Ouest (PPZS), le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), l'Institut sénégalais de recherches agricoles (ISRA), le Centre de suivi écologique (CSE), l'Université Cheikh Anta Diop (UCAD), l'Institut de recherche pour le développement (IRD), le Centre d'étude régional pour l'amélioration de l'adaptation à la sécheresse (CEERAS) et la Deutscher Akademischer Austauschdienst (DAAD) pour leur encadrement et le financement de ces travaux de recherche. Nous remercions également le laboratoire LAMA (UAR IMAGO de l'IRD) et le Laboratoire mixte international Intensification écologique des sols cultivés en Afrique de l'Ouest (LMI IESOL) pour l'appui matériel et technique.

REFERENCES

- Akpo L.E., Banoïn M., Grouzis M., 2003. Effet de l'arbre sur la production et la qualité fourragères de la végétation herbacée : bilan pastoral en milieu sahélien. *Rev. Méd Vét.*, **154** (10): 619-628
- Akpo L.E., Goudiaby V.A., Grouzis M., Le Houerou H.N., 2005. Tree shade effects on soils and environmental factors in a savanna of Senegal. *West Afric. J. Appl. Ecol.* **7** (1): 41-52, doi: 10.4314/wajae.v7i1.45647

- Akpo L.E., Grouzis M., 2000. Valeur pastorale des herbages en région soudanienne: le cas des parcours sahéliens du Nord-Sénégal. *Tropicicultura*, **18** (1): 1-8
- Assouma M.H., 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: 10.1016/j.jaridenv.2018.11.013

- Assouma M.H., Serça D., Guérin F., Blanfort V., Lecomte P., Touré I., Ickowicz A., et al., 2017. Livestock induces strong spatial heterogeneity of soil CO₂, N₂O and CH₄ emissions within a semi-arid sylvo-pastoral landscape in West Africa. *J. Arid Land*, **9** (2): 210-221, doi: 10.1007/s40333-017-0001-y
- Assouma M.H., Vayssières J., Bernoux M., Hiernaux P., Lecomte P., 2014. Greenhouse gas balance of a tropical sylvo-pastoral ecosystem in Senegal's semi-arid Region. In: Livestock, climate change and food security conference. Madrid, Spain, p. 19-20
- Belsky A.J., Amundson R.G., Duxbury J.M., Riha S.J., Ali A.R., Mwonga S.M., 1989. The effects of trees on their physical, chemical and biological environments in a semi-arid savanna in Kenya. *J. Appl. Ecol.* **26** (3): 1005-1024, doi: 10.2307/2403708
- Bernhard-Reversat F., 1982. Biogeochemical Cycle of Nitrogen in a Semi-Arid Savanna. *Oikos*, **38** (3): 321, doi: 10.2307/3544672
- Blanfort V., Stahl C., 2013. Actes de la journée : Le carbone en forêt et en prairies issues de déforestation en Guyane, processus, bilans et perspectives, 1er octobre 2013, Cayenne, Guyane française. CIRAD, Montpellier, France, 72 p.
- Cambou A., Cardinael R., Kouakoua E., Villeneuve M., Durand C., Barthès B.G., 2016. Prediction of soil organic carbon stock using visible and near infrared reflectance spectroscopy (VNIRS) in the field. *Geoderma*, **261**: 151-159, doi: 10.1016/j.geoderma.2015.07.007
- Claude J., Grouzis M., Milleville P., 1991. Un espace sahélien: la mare d'Oursi, Burkina Faso. ORSTOM, Paris, France, 241 p.
- Diallo M.D., Goalbaye T., Mahamat-Saleh M., Sarr P.S., Masse D., Wood S.A., Diop L., 2017. Effects of major woody species of the Senegalese Great Green Wall on N mineralization and microbial biomass in soils. *Bois For. Trop.*, **333**: 43-54
- Don A., Schumacher J., Scherer-Lorenzen M., Scholten T., Schulze E.D., 2007. Spatial and vertical variation of soil carbon at two grassland sites—implications for measuring soil carbon stocks. *Geoderma*, **141** (3-4): 272-282, doi: 10.1016/j.geoderma.2007.06.003
- Flaig W., 1976. Soil organic matter studies. *At. Energy Rev.*, **14** (4): 735-742
- Gerber P., Touré I., Ickowicz A., Garba I., Toutain B., 2012. Quels enjeux pour un système d'information sur le pastoralisme au Sahel? In: Atlas des évolutions des systèmes pastoraux au Sahel : 1970-2012. FAO, Rome, Italie, p. 2-3
- Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Faluccci A., et al., 2013. Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. FAO, Rome, Italy, 115 p.
- Henry M., Valentini R., Bernoux M., 2009. Soil carbon stocks in ecoregions of Africa. *Biogeosci. Discuss.*, **6** (1): 797-823, doi: 10.5194/bgd-6-797-2009
- Hiernaux P.H., Cissé M.I., Diarra L., De Leeuw P.N., 1994. Fluctuations saisonnières de la feuillaison des arbres et des buissons sahéliens. Conséquences pour la quantification des ressources fourragères. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, **47** (1): 117-125, doi: 10.19182/remvt.9123
- Iris J.M., 1986. Analyse et interprétation de la variabilité spatiale de la densité apparente dans trois matériaux ferrallitiques. *Sci. Sol*, **24** (3): 245-256
- IUSS-WRB W.G.W., 2015. Base de référence mondiale pour les ressources en sols 2014, Mise à jour 2015. Système international de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes de cartes pédologiques. Rapport sur les ressources en sols du monde. FAO, Rome, Italie, 215 p.
- Jobbágy E.G., Jackson R.B., 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecol. Appl.*, **10** (2): 423-436, doi: 10.1890/1051-0761
- Jones A., Breuning-Madsen H., Brossard M., Dampha A., Deckers J., Dewitte O., Gallali T., et al., 2013. Soil atlas of Africa. Publications Office of the European Union, 176 p.
- Kessler J.J., 1992. The influence of karité (*Vitellaria paradoxa*) and néré (*Parkia biglobosa*) trees on sorghum production in Burkina Faso. *Agrofor. Syst.*, **17** (2): 97-118, doi: 10.1007/BF00053116
- Lecomte P., Blanfort V., 2013. Elevage, gaz à effet de serre et changements d'utilisation du territoire. In: Actes de la journée : Le carbone en forêt et en prairies issues de déforestation en Guyane, processus, bilans et perspectives, 1er octobre 2013, Cayenne, Guyane française. CIRAD, Montpellier, France, p. 18-21
- Marone D., Poirier V., Coyea M., Olivier A., Munson A.D., 2017. Carbon storage in agroforestry systems in the semi-arid zone of Niayes, Senegal. *Agrofor. Syst.*, **91** (5): 941-954, doi: 10.1007/s10457-016-9969-0
- Melillo J.M., Aber J.D., Muratore J.F., 1982. Nitrogen and Lignin Control of Hardwood Leaf Litter Decomposition Dynamics. *Ecology*, **63** (3): 621-626, doi: 10.2307/1936780
- Noble I., Bolin B., Ravindranath N., Verardo D., Dokken D., 2000. Land use, land use change, and forestry. *Environ. Conserv.*, **28** (3): 284-293
- Penning de Vries F.W.T., Djité M.A. (Eds.), 1982. La productivité des pâturages sahéliens: une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. PUDOC, Wageningen, Pays Bas, 525 p.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., De Haan C., 2009. L'ombre portée de l'élevage : impacts environnementaux et options pour leur atténuation. FAO, Rome, Italie, 464 p.
- Tappan G.G., Sall M., Wood E.C., Cushing M., 2004. Ecoregions and land cover trends in Senegal. *J. Arid Environ.*, **59** (3): 427-462, doi: 10.1016/j.jaridenv.2004.03.018
- Weltzin J.F., Coughenour M.B., 1990. Savanna tree influence on understory vegetation and soil nutrients in northwestern Kenya. *J. Veg. Sci.*, **1** (3): 325-334, doi: 10.2307/3235707
- Wezel A., Rajot J.L., Herbrig C., 2000. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger. *J. Arid Environ.*, **44** (4): 383-398, doi: 10.1006/jare.1999.0609
- Woomer P.L., Touré A., Sall M., 2004. Carbon stocks in Senegal's Sahel transition zone. *J. Arid Environ.*, **59** (3): 499-510, doi: 10.1016/j.jaridenv.2004.03.027
- Yuan Z., Gazol A., Lin F., Ye J., Shi S., Wang X., Wang M., et al., 2013. Soil organic carbon in an old-growth temperate forest: Spatial pattern, determinants and bias in its quantification. *Geoderma*, **195-196**: 48-55, doi: 10.1016/j.geoderma.2012.11.008

Summary

N’Goran A.-J.A., Diouf A.A., Diatta S., Assouma M.H., Djagoun A.J., Assogba G.G.C., Cournac L., Chapuis-Lardy L., Blanfort V., Taugourdeau S. Variability of soil carbon stocks under and outside the tree crown in the silvopastoral zone of Senegal

The pastoral livestock system is criticized for its environmental impact caused by high greenhouse gas emissions per unit of product, and the adverse effects on soil and vegetation. In Senegal, the carbon stock in vegetation has been monitored by the Center for Ecological Monitoring at 24 sites in the Sahel since 1987. However, soil C stock, an essential parameter for the humification process of tree litter and rhizodeposition of grasses, is not taken into account. This study aimed to determine the influence of tree and environmental factors on soil C content. Thus, 15 of the sites monitored in the Center were selected, and 480 soil samples were collected at 0–10 cm and 10–30 cm depth under and outside the tree crown. Total C and N contents were predicted by near-infrared spectroscopy (NIRS), and C and N stocks were calculated from 60 soil samples taken from under and outside the tree crown. A principal component analysis was carried out to identify the factors involved in C stock variation. Thus, in the silvopastoral area of Senegal, these stocks varied along a north-south gradient; they were positively correlated with rainfall, tree cover, and biomass. They varied between 9.3 and 29.7 Mg C/ha at 10–30 cm. At a finer scale, the tree induced an increase in C and N contents under the crown in the 0–10 cm layer. This study showed that soil C stocks can be used to determine the need for C compensation in Sahel through tree planting.

Keywords: carbon stock assessments, soil organic matter, nitrogen, savannahs, silvopastoral systems, Sahel

Resumen

N’Goran A.-J.A., Diouf A.A., Diatta S., Assouma M.H., Djagoun A.J., Assogba G.G.C., Cournac L., Chapuis-Lardy L., Blanfort V., Taugourdeau S. Variabilidad de las reservas de carbono del suelo bajo el dosel y fuera del mismo en la zona silvopastoral del Senegal

El sistema de ganadería pastoral es criticado por su impacto ambiental debido a las elevadas emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de producto y por su efecto adverso sobre el suelo y la vegetación. En Senegal, el Centro de Seguimiento Ecológico lleva a cabo un seguimiento del carbono almacenado en la vegetación en 24 zonas del Sahel desde 1987. Sin embargo, no se tiene en cuenta el almacenaje de C en el suelo, un parámetro esencial en los procesos de humificación de la hojarasca de los árboles y la rizodeposición de las plantas herbáceas. Este estudio tenía como objetivo determinar la influencia de los árboles y los factores ambientales en el contenido de C del suelo. Así pues, se seleccionaron 15 zonas de seguimiento del Centro y se tomaron 480 muestras de suelo a 0–10 cm y 10–30 cm de profundidad por debajo del dosel y fuera del mismo. El contenido total de C y N se estimó mediante espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS) y el C y el N almacenados se calcularon a partir de 60 muestras de suelo tomadas debajo de las copas y fuera de ellas. Se utilizó el análisis de componentes principales para identificar los factores implicados en la variación del C almacenado. Así, en la zona silvopastoral del Senegal, estas reservas variaban a lo largo de un gradiente norte-sur; correlacionándose positivamente con la pluviometría, la tasa de cobertura arbórea y la biomasa. Variaron entre 9,3 y 29,7 Mg C/ha a 10–30 cm. A una escala más fina, el árbol indujo un aumento del contenido de C y N bajo la copa en el horizonte de 0–10 cm. Este estudio demostró que las reservas de C del suelo pueden utilizarse para determinar la necesidad de compensación de las emisiones de C en el Sahel mediante la plantación de árboles.

Palabras clave: estimación de las existencias de carbono, materia orgánica del suelo, nitrógeno, sabanas, sistemas silvopascícolas, Sahel

Spatial distribution and assessment of biosecurity levels of pig farms in selected local government areas in Ogun State, Nigeria

Olajolu Jokotola Awoyomi^{1*} Oluwatoyin Agbalu¹
Olajumoke Ramot Oladipupo¹
Oluwawemimo Oluwaseun Adebawale¹
Olugbenga Olusegun Kehinde¹ Femi Oyebade Awoyomi²
Opeyemi Oluwaseun Tope-Ajayi³

Keywords

Swine, livestock farms, spatial distribution, biosafety, Nigeria

© O.J. Awoyomi et al., 2022



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

Submitted: 6 January 2021

Accepted: 7 September 2022

Published: 30 September 2022

DOI: 10.19182/remvt.36985

Summary

This study was carried out on the spatial distribution, characterization and biosecurity assessment of pig farms in some local government areas in Ogun State, Nigeria. Data were collected with a semi-structured questionnaire. Spatial autocorrelation was used to show relations between pig farms' locations and biosecurity measures. A scoring system ranging from 0 to 1 was developed from the biosecurity measures retained. A biosecurity measure was scored 1 if present, 0 if absent. The measures were divided into two categories: bioexclusion and biomanagement/biocontainment. The total score of each measure was obtained by summing all scores from each farm. One hundred pig farms were surveyed. The average number of years since farm establishment was 7.32 ± 5.19 years, farms were confined, mostly small scaled (81.0%), with an average herd size of 58.9 ± 99.40 , and 1.8 ± 1.52 farm workers. The distribution of pig farms with different biosecurity levels was significant ($p = 0.002$) and leaned toward a clustered scenario with a Moran's index of 0.27, z score of 3.18. Out of a maximum obtainable score of 100 for each measure, 'prophylactic herd treatment' and 'cleaning done daily' had scores higher than 80. On the other hand, 'absence of rodents, wild birds and stray animals on the farm', 'workers mandated use of clean and disinfected protective clothing before entering the farm' and 'vehicle disinfected at the entrance of the farm' had scores lower than 5. The mean scores for bioexclusion and biomanagement/biocontainment were 21.42 ± 18.07 and 49.83 ± 25.07 , respectively. The overall biosecurity score of 35.63 ± 25.84 was significantly associated with herd size, number of years since farm establishment, and owners' education level. In order to ensure sustainable productivity and prevent disease outbreak, pig farmers must give the utmost importance to biosecurity.

■ How to quote this article: Awoyomi O.J., Agbalu O., Oladipupo O.R., Adebawale O.O., Kehinde O.O., Awoyomi F.O., Tope-Ajayi O.O., 2022. Spatial distribution and assessment of biosecurity levels of pig farms in selected local government areas in Ogun State, Nigeria. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 75 (3): 77-85, doi: 10.19182/remvt.36985

■ INTRODUCTION

A geographic information system (GIS) is a computer based system that can be used for capturing, processing, storing, checking, integrating, manipulating, analyzing, displaying, retrieving and sharing all types of data related to position on the surface of the earth (Hay, 2000). When GIS is optimally utilized, it can inform and educate (professionals and the public), empower decision-making at all levels, help in planning and eventually bring about unprecedented clinically and cost-effective actions (Boulos, 2004). Auchincloss et al. (2012) wrote: "Epidemiologists use GIS to assess proximity, aggregation, and clustering, as well as to perform spatial smoothing, interpolation

1. Department of Veterinary Public Health and Preventive Medicine, College of Veterinary Medicine, Federal University of Agriculture, Abeokuta, Nigeria.

2. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Ibadan, Nigeria.

3. Department of Environmental Management and Toxicology, College of Environmental Resources Management, Federal University of Agriculture, Abeokuta, Nigeria.

*Corresponding author

Email: jojuawoyomi@yahoo.com

and spatial regression.” Specifically, GIS can be used in recording and reporting disease information which is easier to comprehend when visualized on the map. Furthermore, GIS can also assist in understanding disease dynamics and spreading patterns, planning disease prevention and eradication strategies, and correlations of disease trends with climate for disease prediction.

Biosecurity is defined as “the implementation of measures that reduce the risk of disease agent being introduced and spread. It requires that authorities and people set and adopt some attitudes and behaviors to reduce risk in all activities involving animals (domesticated or wild) and their products” (FAO/OIE/World Bank, 2008). There are basic measures for biosecurity which include bioexclusion, biocontainment and biomanagement. These measures have been identified as indispensable preventive approaches for diseases and the cornerstone of herd health maintenance.

Pig production plays a vital role in food security, poverty eradication and employment generation in Nigeria (Ogunniyi and Omoteso, 2011). In the past decade, the supply of pork for human consumption has expanded compared to the supply of other meats. Also, changes in the pig production systems have occurred in many countries, “among which are a shift from extensive, small-scale, subsistence, mixed production systems toward more intensive, large-scale, geographically-concentrated, commercially-oriented and specialized production” (Robinson et al., 2011). These changes have enabled increase in production of pork per capita and per farm (Robinson et al., 2011; Poapongsakorn and Naranang, 2003).

Eradication of diseases from pig farms remains an important goal although it is one rarely achieved. The strong link between the occurrence of diseases, pig production systems and farm scale has been established (Cameron, 2000; Otte et al., 2007). Smallholders’ pig production systems have been reportedly linked to poor hygiene and low biosecurity with few barriers to potential contacts between pigs, humans and wildlife (Thanapongtharm et al., 2016). At the same time large pig farms are often associated with build up of pathogens both in the environment and carrier animals, and it may foster emergence of antimicrobial resistant pathogens. Many diseases limit pig production among which are African swine fever (ASF), foot-and-mouth disease, brucellosis, trypanosomiasis, helminthosis and mange (Igbokwe and Maduka, 2018).

Visualizing and spatial statistical analysis of pig farms’ information make it easy for specialists to identify relative distances and overlapping between farms. More details have to be integrated to the map to help predict outbreaks before they erupt and for early warning to enhance the commencement of disease management plans. Therefore, a need to map out pig farms and their characteristics, common diseases and biosecurity measures put in place for disease prevention is crucial (Moustafa et al., 2012). The results could be used to identify weak links in biosecurity, and to promote the development of policies for the establishment of pig farms and a rapid response in disease outbreaks. In this study we mapped, characterized and assessed biosecurity measures of pig farms in areas of Ogun State, Nigeria. We tested the hypotheses that the pig farms in the study area were uniformly distributed and that there was no significant correlation between bioexclusion and biomanagement/biocontainment scores.

■ MATERIALS AND METHODS

This study was carried out in Abeokuta Metropolis (Abeokuta North, Abeokuta South and part of Obafemi Owode Local Government) and Odeda Local Government, all in Ogun State (Figure 1). Abeokuta Metropolis and Odeda have estimated areas of 879 km² and 1560 km², respectively. The estimated populations of Abeokuta Metropolis and Odeda were 449,088 and 109,449 inhabitants, respectively (NPC, 2006).

A cross-sectional survey was conducted with pig farmers in August 2017 and August 2018. The locations of all pig farms were captured using the snowball sampling technique in order not to miss any existing farm. At the time of the study 98 pig farms were registered in the whole State. A pilot study was carried out to predetermine the average time it would take respondents to fill the questionnaire, to correct and adjust ambiguous questions as well as to improve clarity prior to administration to the pig farmers. The coordinates (longitude and latitude) of each pig farm were recorded with a global positioning system (Garmin Etrex 20). Demographic data and other information were gathered in a semi-structured questionnaire of four pages and 45 questions, divided into four sections: section A, farm owners’ demographic data; section B, information on the management systems of the various farms; section C, information on the biosecurity measures adopted; and section D, information on the farms’ disease history. The questionnaire was translated into the local language (Yoruba) for farmers who were unable to read or write in English, and their responses were recorded.

A scoring system was developed from the biosecurity measures of the study ranging from 0 to 1. A biosecurity measure was scored 1 if present and 0 if absent. For a given measure the total score was obtained by adding the score of each farm. Twenty-four biosecurity measures were categorized into two: bioexclusion 12 measures, and biomanagement/biocontainment 12 measures. Each measure was graded based on the number of respondents with positive responses; the highest obtainable score for each measure was thus 100. The mean of each category and overall biosecurity scores were then obtained. Furthermore, the biosecurity levels were categorized as good or poor based on the number of biosecurity measures adopted on the farm. Farms with at least 12 biosecurity measures were categorized as good whereas those with less than 12 measures were categorized as poor.

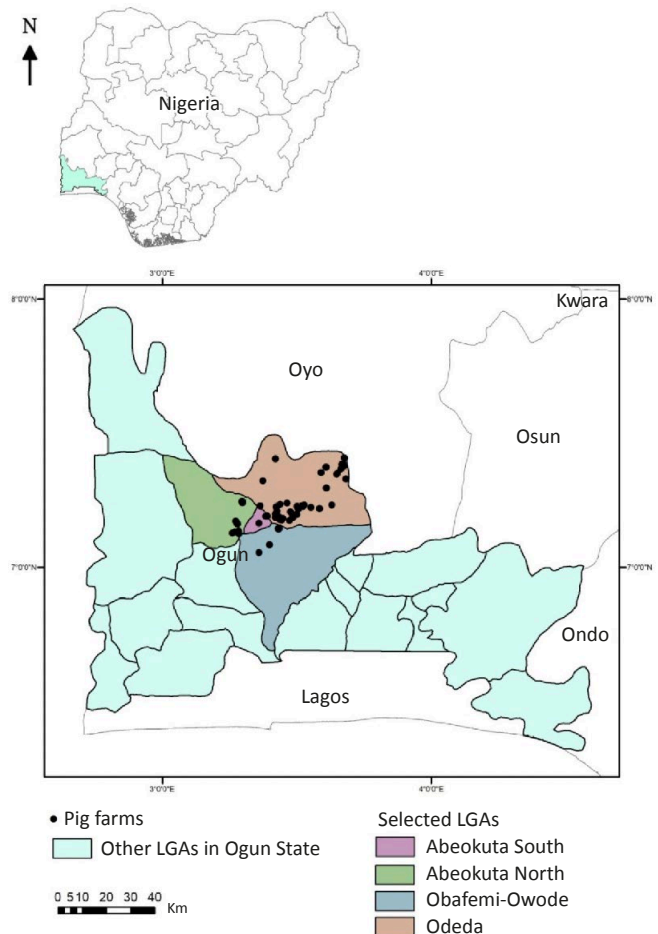


Figure 1: Location of the pig farms studied in Ogun State, Nigeria // Localisation des élevages porcins étudiés dans l'Etat d'Ogun au Nigeria

The spatial distribution of the farms was mapped. A spatial autocorrelation was carried out with Moran's I (subset of Spatial Statistics Tools in ArcMap 10.5) to determine whether there was any clustering, randomness or dispersion in farm locations. To calculate the minimum distance any pig farm was from a neighbor we used the 'Calculate Distance Band from Neighbor Count' tool. The incremental spatial autocorrelation analysis allowed us to identify at what scale or distance the autocorrelation was maximized. Cluster and Outlier analyses (Anselin Local Moran's I) and Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi) allowed for the identification of hot spots.

The data gathered through the questionnaire were coded and entered into a spreadsheet using Microsoft Excel then the data was analyzed using descriptive statistics. Responses from the two locations were compared with the Chi square test or the independent sample t test. Both the hierarchical classification and principal component analyses (PCA) of all the parameters across the two biosecurity measures on the pig farms were carried out to obtain more detailed information on observations made. Suitability of the data for factor analysis was measured with the Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) test of sampling adequacy. A logistic regression analysis was also carried out to determine factors affecting biosecurity scores. All statistical analyses were carried out with the statistical package for social science (SPSS) software.

RESULTS

Farmers and farm characteristics

Out of a total 106 farms identified, 52 were from or around Abeokuta, and 54 from Odeda LGA. However, only 100 farms were operational as six had relocated or recently closed down. Among the respondents 82% were males, 73% were 31–55 years old, 90% were Christian, and only 38% had farming as their primary occupation. Most of them were educated to the tertiary level (56%), married (85%) and had 8.30 ± 6.84 mean years of experience (range = 1–32 years) (Table I).

Mean age of farm establishment was 7.32 ± 5.19 years (range = 1–34 years). The management system was mostly confined and small scale (81%), with a mean herd size of 58.9 ± 99.40 pigs (range = 3–500 pigs). The mean number of farm workers was 1.80 ± 1.52 (range = 1–10) (Table I).

Biosecurity practice on pig farms

Table II presents the mean score of each biosecurity measure. Overall mean score in bioexclusion was 21.42 ± 18.07 (range = 0–55). 'Screening of new stocks for specific diseases' was the only measure in this category with a score higher than average (50). The measures

Table I: Farmers' and pig farm characteristics in two areas of Ogun State, Nigeria /// *Caractéristiques des éleveurs de porcs et de leurs élevages dans deux zones de l'Etat d'Ogun au Nigeria*

Characteristics	Total (n = 100)	Odeda LGA (n = 48)	Abeokuta M (n= 52)	P
Sex				0.169
Male (%)	82.0	87.5	76.9	
Female	18.0	12.5	23.1	
Age				0.672
18–30 (%)	9.0	8.3	9.6	
31–40 (%)	34.0	31.2	36.5	
41–55 (%)	39.0	37.5	40.4	
> 55 (%)	18.0	22.9	13.5	
Religion				0.597
Christianity (%)	90.0	91.7	88.5	
Islam (%)	10.0	8.3	11.5	
Primary occupation				0.36
Civil servant (%)	10.0	12.5	7.7	
Farming (%)	38.0	25.0	50.0	
Others (%)	52.0	62.5	42.3	
Educational level				0.373
No formal education (%)	3.0	4.2	1.9	
Primary education (%)	5.0	8.3	1.9	
Secondary education (%)	36.0	37.5	34.6	
Tertiary education (%)	56.0	50.0	61.5	
Marital status				0.48
Single (%)	11.0	14.6	7.7	
Married (%)	85.0	77.1	92.3	
Widow/er (%)	4.0	8.3	0.0	
Experience in pig farming (years)	8.30 ± 6.84	7.30 ± 6.67	9.19 ± 6.93	0.166
Herd size (num.)	58.9 ± 99.40	52.58 ± 98.22	64.73 ± 101.09	0.544
Farm establishment (years)	7.32 ± 5.19	7.60 ± 5.80	7.06 ± 4.61	0.601
System of farming				0.36
Confined small scale (%)	81.0	89.6	73.1	
Intensive large scale (%)	19.0	10.4	26.9	
Farm workers (num.)	1.80 ± 1.52	2.36 ± 1.73	1.34 ± 1.15	0.001

Odeda LGA: Odeda Local Government; Abeokuta M: Abeokuta Metropolis /// *Odeda LGA: zone administrative de Odeda; Abeokuta M: Abeokuta Métropole*

with scores lower than ten were 'absence of rodents, wild birds and stray animals on the farm', 'workers mandated use of clean and disinfected protective clothing before entering the farm', 'vehicle disinfected at the entrance of the farm' and 'all in all out restocking'. However, overall mean score in biomanagement/biocontainment was 49.83 ± 25.07 (range 17–89). Measures with scores higher than average were 'prophylactic herd treatment', 'cleaning done daily', 'water not from streams, rivers and unreliable sources', 'maintenance of animal movement record', 'farm wastes disposed of outside the farm' and 'vaccination of pigs'. The measures with lowest scores included 'functional foot dip at the entrance of each pen', 'train farm attendants on biosecurity measures after employment' and 'domestic animals do not have contact with pig's feedstuff and water source' (Table II). The grand mean biosecurity score on the farms was 35.62 ± 25.84 . Biosecurity levels of only 15% of the pig farms were good. There

Table II: Scores (maximum: 100) of biosecurity measures on pig farms in two areas of Ogun State, Nigeria /// Scores (maximum : 100) des mesures de biosécurité dans les élevages porcins de deux zones de l'Etat d'Ogun au Nigeria

Biosecurity measures	Score	SD
Bioexclusion		
Distance to nearest farm \geq 500 m	36.0	0.48
Farm fenced	21.0	0.41
Vehicle disinfected at the entrance of the farm	4.0	0.20
Mandatory quarantine of new stocks	48.0	0.50
At least three weeks of quarantine of new stocks	20.0	0.40
Workers mandated use of clean and disinfected protective clothing before entering the farm	3.0	0.17
Human and vehicular traffic into the farm restricted	33.0	0.47
Procurement of all your replacement stock from the same source	18.0	0.39
All in all out restocking method	7.0	0.26
Absence of rodents, wild birds and stray animals on the farm	0.0	0.00
Screening of new stocks for specific diseases	55.0	0.61
Other domestic animals absent from the farm	12.0	0.33
<i>Overall score mean 21.42 ± 18.07</i>		
Biomanagement and biocontainment measures		
Water not from streams, rivers and unreliable sources	79.0	0.41
Functional foot dip at the entrance of each pen	17.0	0.38
Isolation pen available for sick animals	41.0	0.49
Cleaning done daily	84.0	0.37
Farm wastes disposed of outside the farm	58.0	0.50
Domestic animals do not have contact with pig's feedstuff and water source	26.0	0.44
Restrictions on farm equipment in and out of farm premises	36.0	0.48
Train farm attendants on biosecurity measures after employment	19.0	0.39
Vaccination of pigs	52.0	0.50
Maintenance of animal movement record	63.0	0.49
Prophylactic herd treatment	89.0	0.31
Record of animal disease incidence	34.0	0.48
<i>Overall mean score: 49.83 ± 25.07</i>		
Grand mean score: 35.63 ± 25.84		

SD: standard deviation /// SD : écart-type

was a significant difference between the means of bioexclusion and biomanagement/biocontainment components of the biosecurity measures ($p < 0.001$), however there was a significant correlation between both components ($p = 0.001$).

Table III presents results of the KMO test for bioexclusion (0.59) and biomanagement/biocontainment measures (0.65). PCA of all the parameters across the two biosecurity components on the pig farms extracted four principal components (PC1–PC4). In biomanagement/biocontainment measures PC1 contributed to the highest variance (28.76%). Bioexclusion measures contributed a cumulative variance of 64.17%. Absence of rodents on the farm was excluded in the parameters for factorial analysis of bioexclusion because rodents were present in all the farms. All other parameters in bioexclusion measures contributed highly to PC1 with highest contributions from "Human and vehicular traffic into the farm restricted" (0.68), "other domestic animals absent from the farm" (0.68), "farm fenced" (0.65), and "mandatory quarantine of new stocks" (0.63). The highest communality in bioexclusion measures was from "screening of new stocks for specific diseases" (0.77).

Biomanagement/biocontainment measures contributed a cumulative variance of 69.23% (Table III). All parameters contributed highly to PC1 with highest contributions from 'domestic animals do not have contact with pig's feedstuff and water source' (-0.86), 'vaccination of pigs' (0.86), 'maintenance of animal movement record' (0.80), 'restrictions on farm equipment in and out of farm premises' (-0.69) and 'farm wastes disposed of outside the farm' (0.58). In addition, PC2, PC3 and PC4 were contributed on a second, third and fourth stages, respectively, mostly from 'record of animal disease incidence' (0.82), 'cleaning done daily' (0.87) and 'water not from streams, rivers and unreliable sources' (0.90). The highest communality in biomanagement/biocontainment measures was from 'water not from stream, rivers and unreliable sources' (0.83) (Table III).

Determinants of farm biosecurity levels were number of years since farm establishment ($p = 0.039$, 95% confidence interval [CI] 0.005–0.194), herd size ($p = 0.018$, 95% CI 0.001–0.012) and educational qualification of the owner (Table IV).

Spatial distribution of pig farms and disease occurrence

The distribution of the pig farms with different biosecurity levels was significant and leaned toward a clustered scenario (z score: 3.182132) (Figure 2). Figure 3 shows Moran's I global spatial autocorrelation with various distances within the locations of the pig farms with different biosecurity levels at 10 increments against the level of significance (z score). This was achieved by incremental spatial autocorrelation analysis. The peak (distance: 4440 m, z score: 2.598851) shows where the cluster is maximum. To another pig farm the nearest distance was 10 meters, the average distance 889 m, and the maximum distance 10,425 m. Only 36 farms were at least 500 m away from their nearest neighbors, whereas the remaining farms were in close proximity. In Figure 4, the red circle shows areas of clusters with similarly high values near each other. In this case, there was an adequate biosecurity level close to each other. By contrast the blue circles show areas of clusters with similarly low values near each other. According to our analysis, there was an inadequate biosecurity level close to each other at these locations. The pink and green circles are the outliers. Pink circle outliers represent where there was adequate biosecurity surrounded by inadequate biosecurity and vice versa. The gray circles show areas where no significant clustering was observed (low z scores).

Table III: Factor analysis, KMO test and communality of each biosecurity measure on pig farms in two areas of Ogun State, Nigeria /// Analyse factorielle, test KMO et communauté de chaque mesure de biosécurité dans les élevages porcins de deux zones de l'Etat d'Ogun au Nigeria

Parameter	PC1	PC 2	PC 3	PC 4	Communality
Bioexclusion measures					
Human and vehicular traffic into the farm restricted	0.68	-0.15	0.40	0.13	0.66
Other domestic animals absent from the farm	0.68	0.19	-0.09	0.07	0.51
Farm fenced	0.65	-0.01	0.00	-0.27	0.49
Mandatory quarantine of new stocks	0.63	-0.47	0.27	0.07	0.69
At least three weeks of quarantine of new stocks	-0.21	0.84	-0.09	0.03	0.76
Screening of new stocks for specific diseases	-0.12	-0.83	-0.27	0.04	0.77
Distance to nearest farm \geq 500 m	0.36	0.49	-0.24	0.22	0.48
Vehicle disinfected at the entrance of the farm	0.00	-0.04	0.86	-0.04	0.75
Workers mandated use of clean and disinfected protective clothing before entering the farm	0.09	0.06	0.83	-0.05	0.70
All in all out restocking method	0.24	0.09	-0.11	0.76	0.65
Procurement of all your replacement stock from the same source	-0.27	-0.03	0.03	0.72	0.59
Eigen values	2.44	1.87	1.58	1.17	
Percentage of variance	22.20	16.96	14.33	10.68	
Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy	0.59				
Biomangement/biocontainment measures					
Domestic animals do not have contact with pig's feedstuff and water source	-0.86	-0.13	-0.11	0.15	0.79
Vaccination of pigs	0.86	-0.22	-0.03	0.04	0.79
Maintenance of animal movement record	0.80	-0.02	0.09	0.26	0.72
Restrictions on farm equipment in and out of farm premises	-0.69	0.03	-0.21	0.22	0.58
Farm wastes disposed of outside the farm	0.58	-0.48	-0.17	-0.03	0.59
Record of animal disease incidence	-0.17	0.82	0.08	-0.24	0.76
Isolation pen available for sick animals	0.02	0.73	0.13	-0.08	0.55
Functional foot dip at the entrance of each pen	-0.13	0.71	0.17	-0.02	0.56
Train farm attendants on biosecurity measures after employment	0.15	0.67	-0.21	0.31	0.61
Cleaning done daily	-0.02	0.10	0.87	0.00	0.77
Prophylactic herd treatment	0.47	0.16	0.72	0.06	0.76
Water not from streams, rivers and unreliable sources	-0.08	-0.09	0.03	0.90	0.83
Eigen values	3.45	2.59	1.16	1.09	
Percentage of variance	28.76	21.64	9.67	9.16	
Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy	0.65				

PC 1, PC 2, PC 3, PC 4: Principal components /// PC 1, PC 2, PC 3, PC 4 : composantes principales

Figure 5 shows locations of optimal clustering in biosecurity level with 90% to 99% confidence level. Red color indicates area of optimum clusters of inadequate biosecurity.

Two thirds of the farmers did not record any disease incidence, and 85% had no disease outbreak in the preceding year. There was no veterinary presence on most of the farms (67%) although farmers carried out prophylactic treatment of pigs (89%). The most previously encountered diseases/conditions on the farms were mange (57%), swine dysentery/diarrhea (47%), other diseases were ASF (3%), erysipelas (1%), brucellosis (1%), and foot and mouth (1%). More than a third of the farmers (37%) could not identify the sources of diseases on their farms; however, some identified contaminated feeds (7%), poor biosecurity (2%), roaming animals (2%), introduction of new stock (2%), visitors (1%), and flies (1%).

■ DISCUSSION

Farmers and farm characteristics

This study provided a baseline tool in the reorganization of the pig sector for strategic disease control in the study area. The predominance of

male at their prime age in pig production as observed in this study is in agreement with the findings of Obayelu et al. (2017) who reported that pig production is dominated by men in Nigeria. Results showed that Christians made up the majority of the farmers (91%). This outcome is not surprising as the Muslim confession forbids keeping pigs. This corroborates findings in Nigeria by Obayelu et al. (2017), and in Cameroon by Kouam and Moussala (2018). The proportion of part-time farmers (professionals, students, civil servants, etc.) recorded in this study was in agreement with reports by Ajala (2007). However, this result was contrary to a study by Adeshinwa et al. (2003), who report that the majority of pig farmers surveyed in Oyo State, Nigeria, are in this business full time. Despite this variation, which might be due to differences in the closeness of study areas to urban centers, it implies that people in other occupations are also involved in pig farming as an additional source of income. The high number of the respondents in this study who had formal education, compared to the low rate of those who had no formal education, agreed with the observation of Obayelu et al. (2017), and will impact positively the adoption rate especially for the application of new technology in swine production, management and disease reporting. The majority of the respondents had at least five years of experience in pig farming (68%); this showed that most of the

Table IV: Determinants of biosecurity scores of pig farms in two areas of Ogun State, Nigeria // *Déterminants des scores de biosécurité des élevages porcins dans deux zones de l'Etat d'Ogun au Nigeria*

Parameters	Regr. Coef.	P	95% confidence interval	
			Lower bound	Upper bound
Farmers' socioeconomic characteristics				
Sex				
Male	-0.612	0.255	-1.674	0.450
Female	0 ^a			
Age				
18–30	-0.142	0.892	-2.205	1.922
31–40	1.069	0.121	-0.287	2.425
41–55	1.448	0.026	0.179	2.717
> 55	0 ^a			
Religion				
Christianity	0.475	0.504	-0.933	1.884
Islam	0 ^a			
Primary occupation				
Civil servant	0.014	0.984	-1.345	1.374
Farming	-0.157	0.706	-0.984	0.669
Others	0 ^a			
Educational level				
No formal education	-1.568	0.233	-4.166	1.030
Primary education	-4.002	0	-5.867	-2.137
Secondary education	-1.062	0.018	-1.938	-0.186
Tertiary education	0 ^a			
Marital status				
Single	0.157	0.909	-2.580	2.895
Married	-1.343	0.232	-3.559	0.874
Widow/er	0 ^a			
Years of experience in pig farming	-0.044	0.232	-0.117	0.029
Farm characteristics				
Farming system				
Confined small scale	0.634	0.372	-0.771	2.039
Intensive large scale	0 ^a			
Years of farm establishment	0.099	0.039	0.005	0.194
Herd size	0.007	0.018	0.001	0.012

Regr. Coef.: Regression coefficient; ^a Reference category // *Regr. Coef.: coefficient de régression ; ^a Catégorie de référence*

farmers were not novice in the pig industry and that pig production was self-sustaining in terms of economic gain otherwise there would have been more out of business pig farmers than what was observed during the study (5.67%).

The majority of the farms were less than nine years, which could be attributed to the fact that pig farming has been a new frontier for investment in the livestock industry in the past few years. Besides there has been no major outbreak of pig disease such as ASF that could have discouraged production. The last major ASF outbreak in the study area was in 1997 when many pig farms were closed down (Otesile et al., 2005). The management system employed by the majority of farmers was the confined system which allowed the animals to be housed and fed in confinement. This ensures an efficient

feed conversion ratio, feed to weight gain, enhanced productivity, as well as less probability of exposure to disease.

Assessment of biosecurity measures

The bioexclusion and biomanagement/biocontainment components on the pig farms using PCA showed that the sample size using KMO test for pig farms in selected local government areas in Ogun State, Nigeria, was adequate. The minimum KMO test standard is 0.5. All scored parameters for the study were important for the classification of biosecurity measures.

The study revealed that the biosecurity level on the pig farms in the study area was very low. Although, a significant correlation was observed between bioexclusion and biomanagement/biocontainment scores, the mean scores significantly varied; farmers paid more attention to biomanagement/biocontainment. This is contrary to findings of Kouam and Mousala (2018), who reported an equal level of implementation of both components of biosecurity in Cameroon. Among the bioexclusion measures, screening of new stocks for specific diseases had the highest score; this may be because the major disease mostly reported was mange as it can be easily spotted through close observations by farmers. Farmers' experience and increased awareness or knowledge on pig diseases and management might also have contributed to this finding. Most other measures in bioexclusion were perceived as less important and scored lowest, especially the control of rodents, wild birds and stray animals on the farm. These animals are a great threat to livestock production because they transmit, among other diseases, trichinosis, leptospirosis, swine dysentery, and salmonellosis. Rodent control needs an integrated pest management strategy and must encompass habitat and biological control, rodent proof farm building, elimination of hiding places, trapping, and removal of food and waste.

For biomanagement/biocontainment, measures such as prophylactic herd treatment had the highest score followed by daily cleaning of pen. It has been observed that farmers tend to spend much in disease treatment instead of in prevention. Heffernan and Misturelli (2000) report the same trend in Kenya as farmers fail to realize that disease prevention is better than control since most times treatment measures are not always successful in the emergence of challenging disease outbreaks. Also, pig farmers may perceive disease prevention as costly, difficult and time consuming, whereas control is less demanding. Furthermore, most farmers in our study had never experienced an outbreak of a major devastating disease with almost 100% mortality such as ASF. The last two measures with the lowest scores in this component were 'functional foot dip at the entrance of each pen' and 'train farm attendants on biosecurity measures after employment'. Backhans et al. (2015) in Sweden also report limited use of footbath. These two measures do not require large investments, but farmers downplay them. This may result from lack of disinfectants and unavailability of extension officers to emphasize their importance. Farm workers' training by experts on risk management and biosecurity cannot be overemphasized. Farm workers need to be trained periodically in order to change attitude toward risk management, accountability and responsibility for each process on the farm. Investment in farm workers' training will be recouped through reduced losses caused by ignorance.

Many factors have been adduced for variation in biosecurity levels on farms, such as perceived cost, utility importance, increased workload and lack of knowledge (Fasina et al., 2012). In this study the determinants of the biosecurity level were farmers' educational level, herd size, and number of years since farm establishment. Education played a major role in rational decision-making. Also the herd size appeared as a type of economic indicator which played an important role in the decision-making process. Furthermore, the herd size was directly

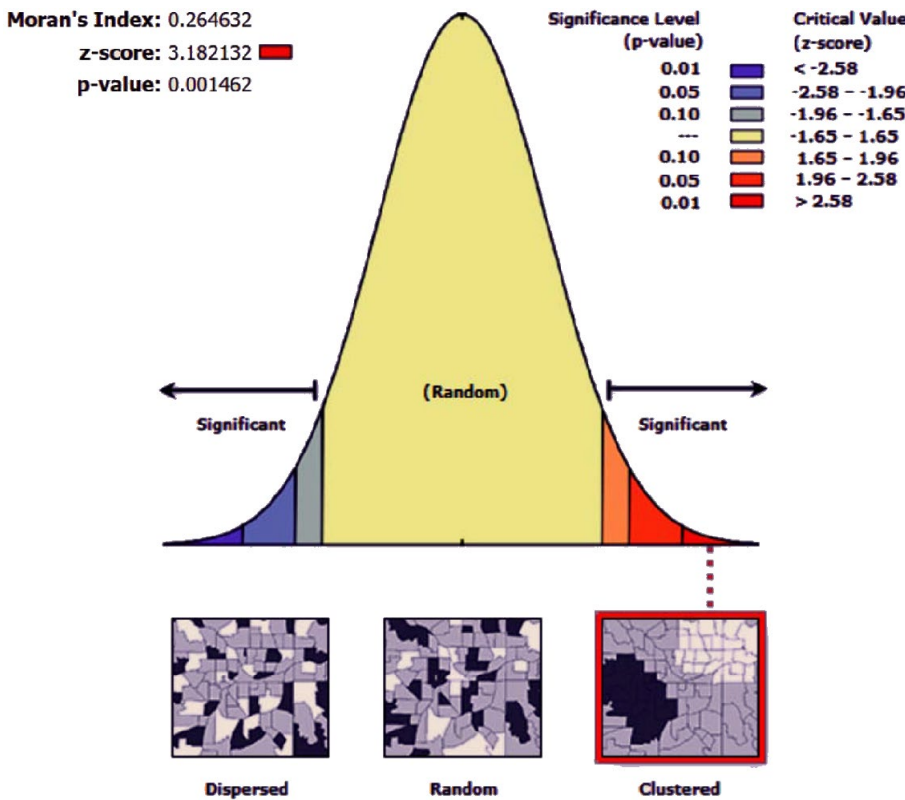


Figure 2: Spatial autocorrelation report on distribution of the pig farms with different biosecurity levels in Ogun State, Nigeria // Rapport d'autocorrélation spatiale sur la répartition des élevages porcins avec différents niveaux de biosécurité dans l'Etat d'Ogun au Nigeria

associated with the levels of investment and income, consequently disease outbreaks in large herds could be highly devastating and with huge animal loss.

Spatial distribution of pig farms and disease occurrence

One of the characteristics of the farms surveyed was that they existed in clusters. The clustering of farmers in the same area may be due to the easy access to animal feed, market collective bargaining for incentives from government, and information sharing. Also clustering provides farmers with access to extension workers. It is relevant to note that when farms exist in clusters, each farmer of each group needs to reach a binding agreement on how to maintain an acceptable level of biosecurity, otherwise there is a limit to an individual farmer's ability

to prevent the spread of disease-causing organisms in the farming community. According to Román et al. (2006), farm proximity to other pig farms is probably the main risk factor for the herd to contract a disease. This was corroborated by the recent outbreak of ASF in Ogun State,

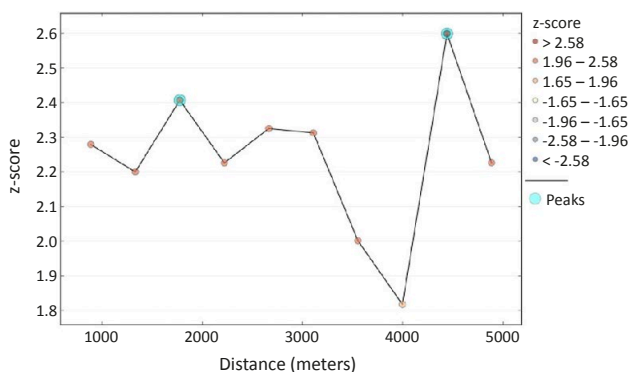


Figure 3: Global Moran's I spatial autocorrelation with distances in pig farms' location and biosecurity levels in Ogun State, Nigeria // Autocorrélation spatiale (indice de Moran) globale avec les distances selon l'emplacement des élevages porcins et leur niveau de biosécurité dans l'Etat d'Ogun au Nigeria

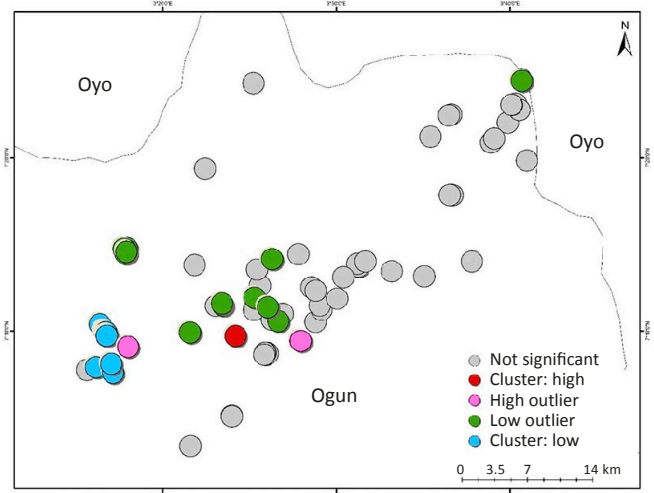


Figure 4: Pig farms' locations in Ogun State, Nigeria. Red circle: area of clusters with similar high values near each other. Blue circles: areas of clusters with similar low values near each other. Pink circles: outlier areas with adequate biosecurity surrounded by inadequate biosecurity, Green circles vice versa. Gray circles: areas where no significant clustering was observed // Localisation des élevages porcins dans l'Etat d'Ogun au Nigeria. Cercle rouge : zone de concentrations avec des valeurs fortes similaires proches les unes des autres. Cercles bleus : zones de concentrations avec des valeurs faibles similaires proches les unes des autres. Cercles roses : zones périphériques avec une biosécurité adéquate entourée d'une biosécurité inadéquate, cercles verts l'inverse. Cercles gris : zones où aucune concentration significative n'a été observée

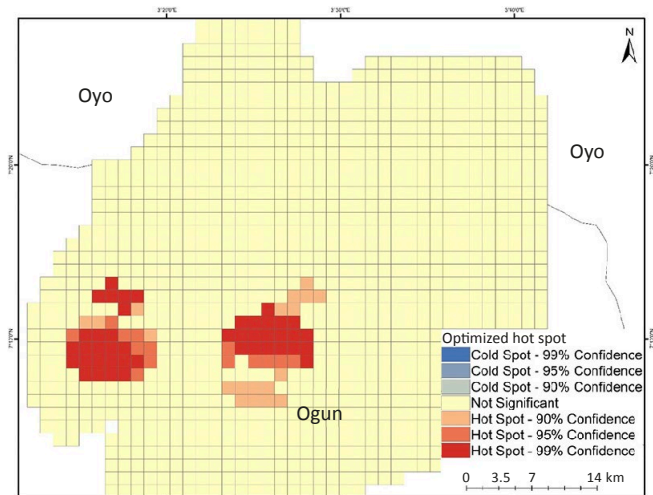


Figure 5: Locations of optimal pig farm clustering in biosecurity level with 90–99% confidence level, Ogun State, Nigeria // Localisation des concentrations maximales des élevages porcins en fonction du niveau de biosécurité avec un taux de confiance de 90-99 %, Etat d'Ogun, Nigeria

where almost a million pigs were lost in a major pig farm community (FAO, 2020). The community-based biosecurity has to consider peculiarity of each herd, financial implication and preventable risk.

In our study recording of disease incidence was low (34.0%), so was veterinary consultation (33.0%). The importance of these two measures is immense. Herd health status assessments cannot be carried out without having comprehensive health and production records in conjunction with veterinarians' services. In addition, a good working

relationship with veterinarians is necessary to develop a workable herd health plan which will culminate in disease prevention and control on the farm (Mee et al., 2012). In this study many farmers carried out prophylactic treatment on animals (57%) without veterinary prescriptions, which has been linked to the misuse and overuse of drugs, especially antimicrobials in pigs (Adebowale et al., 2020).

CONCLUSION

Results show that the implementation of biosecurity measures on pig farms in the study area is very poor. Agricultural policy makers must step in to improve the level of biosecurity on pig farms in Nigeria. Using a geographical information system to locate farms and animal populations, census of pig farms should also be carried out periodically as this will assist in developing an effective and practical policy on biosecurity on pig farms in Nigeria. Furthermore, to encourage good production practices including adequate biosecurity levels, incentives such as access to financial assistance and farm inputs could be given to farmers. The financial benefits of biosecurity on pig farms using together bioexclusion and biocontainment/biomanagement must be emphasized.

Conflicts of interest

The study was carried without any conflict of interest.

Author contributions statement

OJA participated in the conception and design of the study; OJA, OA and ORO collected data and drafted the first version of the manuscript; OOA, OOK, OOTA and FOA participated in the design; OJA and OOTA performed statistical analyses; OOA, OOK and FOA critically reviewed the ms.

REFERENCES

- Adebowale O.O., Adeyemo F.A., Bankole N., Olosaju M., Adesokan H.K., Fasanmi O., Adeyemo O.K., et al., 2020. Farmers' Perceptions and Drivers of Antimicrobial Use and Abuse in Commercial Pig Production, Ogun State, Nigeria. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17: 3579, doi: 10.3390/ijerph17103579
- Adesehinwa A.O.K., Makinde G.E.O., Oladele O.I., 2003. Socio-economic characteristics of pig farmers as determinant of pig feeding pattern in Oyo State, Nigeria. *Livest. Res. Rural. Dev.*, 15 (12): 98-106
- Ajala M.K., 2007. Analysis of factors affecting the management of pigs in Kaduna State, Nigeria. *Agriculture*, 2 (2): 343-347
- Auchincloss A.H., Gebreab S.Y., Mair C., DiezRoux A.V., 2012. A review of spatial methods in epidemiology.2000-2010. *Annu. Rev. Public Health.*, 33: 107-122, doi: 10.1146/annurev-publhealth-031811-124655
- Backhans A., Sjolund M., Lindberg A., Emanuelson U., 2015. Biosecurity level and health management practices in 60 Swedish farrow-to-finish herds. *Acta Vet Scand.*, 57: 14, doi: 10.1186/s13028-015-0103-5
- Boulos M.N.K., 2004. Toward evidence-based, GIS-driven national spatial health information infrastructure and surveillance services in the United Kingdom. *Int J. Health Geogr.*, 3: 1, doi: 10.1186/1476-072X-3-1
- Cameron R.D.A., 2000. A review of the industrialization of pig production worldwide with particular reference to the Asian region. Animal Production and Health. FAO, Rome, Italy
- FAO, 2020. FAO strengthens national capacities on biosecurity and containment of African swine fever. FAO, Rome, Italy
- FAO, OIE, World Bank, 2008. Biosecurity for highly pathogenic avian influenza. Issues and options. FAO Animal Production and Health Paper n° 165, Roma, Italy, 90 p.
- Fasina F.O., Lazarus D.D., Spencer B.T., Makinde A.A., Bastos A.D.S., 2012. Cost implications of African swine fever in smallholder farrow-to-finish units: Economic benefits of disease prevention through biosecurity. *Transbound. Emerg. Dis.*, 59 (3): 244-255, doi: 10.1111/j.1865-1682.2011.01261.x
- Hay S.I., 2000. An overview of remote sensing and geodesy for epidemiology and public Health Application. *Adv. Parasitol.*, 47: 1-35. doi: 10.1016/s0065-308x(00)47005-3
- Heffernan C., Misturelli F., 2000. The delivery of veterinary services to the poor: Preliminary findings from Kenya. Report of the DFID-Funded Study R7357, Veterinary Epidemiology and Economics Research Unit (VEERU), Department of Agriculture, University of Reading, Reading, United Kingdom, 81 p.
- Igbokwe I.O., Maduka C.V., 2018. Disease burden affecting pig production in Nigeria: Review of current issues and challenges. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 71 (1-2): 87-95, doi: 10.19182/remvt.31290
- Kouam M.K., Moussala J.O., 2018. Assessment of Factors Influencing the Implementation of Biosecurity Measures on Pig Farms in the Western Highlands of Cameroon (Central Africa). *Vet. Med. Int.*, 2018: 9173646, doi: 10.1155/2018/9173646
- Mee J.F., Geraghty T., O'Neill R., More S., 2012. Bioexclusion of diseases from dairy and beef farms: Risks of introducing infectious agents and risk reduction strategies. *Vet. J.*, 194 (2): 143-150, doi: 10.1016/j.tvjl.2012.07.001
- Moustafa A.F., Ahmed S.H., Mohammed A.M., 2012. Mapping poultry farms in the UAE utilizing technology. *J. Food Agric. Environ.*, 10 (3-4): 567-571

- Obayelu A.E., Ogunmola O.O., Sowande O.K., 2017. Economic Analysis and the Determinants of Pig Production in Ogun State, Nigeria. *Agric. Trop. Subtrop.*, **50**: 61–70, doi: 10.1515/ats-2017-0007
- Ogunniyi L.T., Omoteso O.A., 2011. Economic analysis of swine production in Nigeria: A case study of Ibadan Zone of Oyo State. *J. Human Ecol.*, **35** (2): 137-142, doi: 10.1080/09709274.2011.11906399
- Otesile E.B., Ajuwape A.T.P., Odemuyiwa S.O., Akpavie S.O., Olaifa A.K., Odaibo G.N., Olaleye O.D., et al., 2005. Field and experimental investigations of an outbreak of African Swine Fever in Nigeria. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, **58** (1-2): 21-26; doi: 10.19182/remvt.9935
- Otte J., Roland-Holst D., Pfeiffer D., Soares-Magalhaes R., Rushton J., Graham J., 2007. Industrial livestock production and global health risks. Pro-poor Livestock Policy Initiative Living Livestock Response Representative. FAO, Rome, Italy
- Poapongsakorn N., NaRanong V., 2003. Policy, Technical, and Environmental Determinants and Implications of the Scaling-Up of Swine, Broiler, Layer and Milk Production in Thailand" Annex IV, Final Report of IFPRI-FAO Livestock Industrialization Project: Phase II. Washington DC, US: International Food Policy Research Institute
- Robinson T.P., Thornton P.K., Franceschini G., Kruska R.L., Chiozza F., Notenbaert A.M.O., Cecchi G., et al., 2011. Global livestock production systems, FAO and ILRI, Roma, Italy
- Román A.V., Lukešová D., Novák P., Žižlavský M., 2006. Biosecurity in pig breeding herds *Agric. Trop. Subtrop.*, **39** (2): 119-214
- Thanapongtharm W., Linar C., Chinson P, Kasemsuwan S., Visser M., Andrea E., Gaughan A.E., et al., 2016. Spatial analysis and characteristics of pig farming in Thailand. *BMC Vet. Res.*, **12**: 218, doi: 10.1186/s12917-016-0849-7

Résumé

Awoyomi O.J., Agbalu O., Oladipupo O.R., Adebowale O.O., Kehinde O.O., Awoyomi F.O., Tope-Ajayi O.O. Distribution spatiale et évaluation des niveaux de biosécurité des exploitations porcines dans des zones de gouvernement local sélectionnées de l'Etat d'Ogun, au Nigeria

L'étude a porté sur la distribution spatiale, la caractérisation et l'évaluation de la biosécurité des élevages porcins dans des zones administratives de l'Etat d'Ogun au Nigeria. Les données ont été recueillies à l'aide d'un questionnaire semi-structuré. L'autocorrélation spatiale a permis de mettre en évidence les relations entre la localisation des élevages porcins et les mesures de biosécurité. Un système de notation allant de 0 à 1 a été élaboré à partir des mesures de biosécurité retenues. Une mesure de biosécurité était notée 1 si présente, 0 si absente. Ces mesures ont été divisées en deux catégories : bioexclusion et biogestion/bioconfinement. Le score total de chaque mesure a été obtenu en additionnant tous les scores de chaque élevage. Cent élevages porcins ont été étudiés. Le nombre moyen d'années depuis la création de l'exploitation était de $7,32 \pm 5,19$ ans, les élevages étaient principalement confinés, de petite taille (81,0 %), avec une taille moyenne de troupeau de $58,9 \pm 99,40$, et $1,8 \pm 1,52$ employé. La distribution des élevages porcins avec différents niveaux de biosécurité était significative ($p = 0,002$) et tendait vers un scénario en grappe avec un indice de Moran de 0,27 et un score z de 3,18. Sur un score maximal de 100 pour chaque mesure, le « traitement prophylactique du troupeau » et le « nettoyage quotidien » ont obtenu des scores supérieurs à 80. En revanche, « absence de rongeurs, d'oiseaux sauvages et d'animaux errants dans la ferme », « utilisation obligatoire par les employés de vêtements de protection propres et désinfectés avant d'entrer dans la ferme » et « véhicule désinfecté à l'entrée de la ferme » ont obtenu des scores inférieurs à 5. Les scores moyens pour bioexclusion et biogestion/bioconfinement étaient respectivement de $21,42 \pm 18,07$ et $49,83 \pm 25,07$. Le score global de biosécurité de $35,63 \pm 25,84$ était significativement associé à la taille du troupeau, au nombre d'années depuis la création de la ferme et au niveau d'éducation des propriétaires. Afin d'assurer une productivité durable et de prévenir l'apparition de maladies, les éleveurs de porcs doivent accorder la plus grande importance à la biosécurité.

Mots-clés : porcins, ferme d'élevage, distribution spatiale, biosécurité, Nigeria

Resumen

Awoyomi O.J., Agbalu O., Oladipupo O.R., Adebowale O.O., Kehinde O.O., Awoyomi F.O., Tope-Ajayi O.O. Distribución espacial y evaluación de los niveles de bioseguridad de las explotaciones porcinas en las áreas de gobierno local seleccionadas del Estado de Ogun, en Nigeria

El estudio se centró en la distribución espacial, la caracterización y la evaluación de la bioseguridad de las explotaciones porcinas en las zonas administrativas del estado de Ogun, en Nigeria. Los datos se recogieron mediante un cuestionario semiestructurado. Se utilizó la autocorrelación espacial para evidenciar la relación entre la ubicación de las explotaciones porcinas y las medidas de bioseguridad. Se elaboró un sistema de puntuación que va de 0 a 1 en función de las medidas de bioseguridad seleccionadas. Una medida de bioseguridad se puntuó con 1 si estaba presente y con 0 si no lo estaba. Estas medidas se dividieron en dos categorías: bioexclusión y biogestión/biocontención. La puntuación total de cada medida se obtuvo sumando todas las puntuaciones de cada explotación. Se estudiaron cien explotaciones porcinas. El número medio de años desde la creación de la explotación era de $7,32 \pm 5,19$ años, las explotaciones eran principalmente confinadas, pequeñas (81,0 %), con un tamaño medio del rebaño de $58,9 \pm 99,40$, y $1,8 \pm 1,52$ empleados. La distribución de las explotaciones porcinas con diferentes niveles de bioseguridad fue significativa ($p = 0,002$) y tendió hacia un escenario de clúster con un índice de Moran de 0,27 y una puntuación z de 3,18. De una puntuación máxima de 100 para cada medida, el «tratamiento profiláctico del rebaño» y la «limpieza diaria» obtuvieron puntuaciones superiores a 80. Por otro lado, «ausencia de roedores, de pájaros silvestres y de animales errantes en la granja», «uso obligatorio de vestuario de protección limpio y desinfectado por parte de los empleados antes de entrar en la granja» y «vehículo desinfectado a la entrada de la granja» obtuvieron puntuaciones inferiores a 5. Las puntuaciones medias para la bioexclusión y la biogestión/biocontención fueron de $21,42 \pm 18,07$ y $49,83 \pm 25,07$ respectivamente. La puntuación global de bioseguridad, de $35,63 \pm 25,84$, se asoció significativamente con el tamaño del rebaño, el número de años transcurridos desde la creación de la explotación y el nivel educativo de los propietarios. Para garantizar una productividad sostenible y prevenir los brotes de enfermedades, los criadores de cerdos deben conceder la máxima importancia a la bioseguridad.

Palabras clave : cerdos, explotaciones ganaderas, distribución espacial, bioseguridad, Nigeria

Résidus d'antibiotiques dans la viande bovine et les œufs vendus à N'Djaména et à Moundou (Tchad)

Souleymane Amine Alhadj ^{1*} Djibrine Souly Imar ^{1,2,3}
André Zoli Pagnah ⁴ Mohamed Moctar Mouiche Mouliom ⁴
Souley Bagari Iya ⁵

Mots-clés

Résidu d'antibiotique, viande bovine, œuf, Tchad

© S. Amine Alhadj et al., 2022



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

Submitted: 29 April 2022

Accepted: 20 June 2022

Online: 20 July 2022

DOI: 10.19182/remvt.36919

Résumé

Ces dernières décennies, l'intensification de la production animale a été favorisée par l'usage des médicaments vétérinaires, en particulier les antibiotiques. Dans ce contexte, cette étude a été menée afin de rechercher la présence de résidus d'antibiotiques dans les denrées alimentaires d'origine animale comme la viande de bovins et les œufs de poules. Des échantillons ont été prélevés (166 issus de viande bovine et 227 d'œufs) dans différents points d'abattage et de commerce des villes de N'Djaména et Moundou au Tchad. Les résultats ont montré la présence de résidus d'antibiotiques dans 72 des 166 échantillons de viande, soit une prévalence de 43,3 %, et dans 60 des 227 échantillons d'œufs, soit une prévalence de 26,4 %. Ces pourcentages élevés de résidus d'antibiotiques dans les denrées alimentaires fréquemment consommées constituent un problème de santé publique. Des études avec des méthodes quantitatives plus poussées devraient être conduites pour identifier la nature des antibiotiques présents dans ces denrées, ainsi que pour en quantifier les teneurs.

■ Comment citer cet article : Amine Alhadj S., Souly Imar D., Zoli Pagnah A., Mouiche Mouliom M.M., Bagari Iya S., 2022. Antibiotic residues in beef and eggs sold in N'Djamena and Moundou (Chad). *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 75 (3): 87-91, doi: 10.19182/remvt.36919

■ INTRODUCTION

Avec plus de 24 millions de têtes de bovins, le Tchad apparaît comme un pays d'élevage par excellence en Afrique centrale. Le secteur de l'élevage occupe au Tchad une place essentielle dans l'économie nationale, représentant 53 % du produit intérieur brut et employant plus de 40 % de la population totale et 80 % des ruraux. L'intensification

de la production animale au cours des dernières décennies a été favorisée par l'usage des médicaments vétérinaires, en particulier les antibiotiques (Giguère et al., 2013). Ces derniers constituent la principale classe de médicaments utilisés en médecine vétérinaire. En élevage, les antibiotiques sont généralement utilisés pour la prophylaxie, la thérapie et la métaphylaxie (Mensah et al., 2014). Les antibiotiques sont aussi utilisés comme promoteur de croissance chez les animaux (Nickell et White., 2010). La mauvaise utilisation de ces antibiotiques par les éleveurs et les vétérinaires ainsi que le non-respect des délais d'attente après le traitement des animaux sont à l'origine de la présence de leurs résidus dans les denrées alimentaires d'origine animale (Abiola et al., 1999). Leur usage incontrôlé peut occasionner des effets secondaires et poser des problèmes de santé publique. En dépit de leurs avantages, l'usage des antibiotiques a été associé à des risques de toxicité directe, d'allergie, de cancérogénicité, de modification de la flore digestive, de sélection et dissémination des bactéries antibiorésistantes au sein des populations humaines et animales (FAO, 2007). Aussi, quelle que soit la nature de l'antibiotique administré,

1. Centre de contrôle qualité des denrées alimentaires (Cecoqda), BP 4486, N'Djaména, Tchad.

2. Institut national supérieur des sciences et techniques d'Abéché, Abéché, Tchad.

3. Institut de recherche en élevage pour le développement (IREDD), N'Djaména, Tchad.

4. Ecole des sciences et de médecine vétérinaire (ESMV), Ngaoundéré, Cameroun.

5. Institut de recherche agricole pour le développement, Centre de recherche agricole de Wakwa, Ngaoundéré, Cameroun.

* Auteur pour la correspondance

Tél. : +235 66 64 06 64 ; email : aminsouley@yahoo.fr

le risque de retrouver des résidus dans les tissus (viandes) et les produits d'excrétion (lait, œufs) est présent. C'est pour cette raison qu'il a été fixé pour chaque médicament un seuil au-delà duquel la quantité de résidus présents dans un aliment présente un danger direct pour le consommateur : c'est la limite maximale de résidus (LMR) (Kantati, 2011). La gestion des risques associés à la présence de résidus d'antibiotiques dans les aliments d'origine animale ou au développement de la résistance aux antibiotiques passe par la connaissance de l'utilisation des antibiotiques dans les élevages (Cazeau et al., 2010). C'est dans ce contexte que la présente étude a été initiée avec pour objectif général de rechercher la présence de résidus d'antibiotiques dans les denrées alimentaires d'origine animale au Tchad.

■ MATERIEL ET METHODES

Echantillons

Une étude descriptive transversale a été menée de juin à novembre 2018 dans les villes de N'Djaména et de Moundou au Tchad. Des échantillons de viande bovine ont été prélevés aux abattoirs, et des œufs ont été achetés dans cinq marchés populaires et trois points de vente en gros d'œufs (dépôt ou boutique). Au total, 393 échantillons ont été retenus, dont 166 de viande (83 dans chaque ville) et 227 œufs (113 à N'Djaména et 114 à Moundou).

Plan d'échantillonnage

Les animaux présents dans le parc de stabulation provenaient d'endroits différents et appartenaient à différents propriétaires (chevillards). La traçabilité était difficile, voire impossible dans ces conditions, mais pour l'assurer le long de la chaîne d'abattage, l'abattoir attribuait à chaque animal un numéro d'identification qui se retrouvait sur la carcasse en fin d'abattage. L'échantillonnage des œufs a été basé sur l'hypothèse selon laquelle le traitement de masse était la méthode de choix chez les volailles et que par conséquent les résidus d'antibiotiques devaient être également répartis dans tous les œufs à un moment donné. Ainsi, notre choix des animaux et des œufs à échantillonner a été aléatoire simple. Etant donné l'absence de données sur le sujet, nous avons retenu l'hypothèse la plus pessimiste selon laquelle le taux d'échantillons positifs aurait été de 50 %, correspondant à la prévalence estimée. Le choix d'un intervalle de confiance à 95 % et d'une précision de 10 % imposait un nombre minimal d'échantillons par classe (viandes et œufs) de 96.

Echantillon de viande bovine

Les prélèvements ont été effectués du 1er juillet au 2 août à l'abattoir frigorifique de Farcha à N'Djaména, et du 20 août au 15 septembre à l'abattoir de Moundou, le matin entre 7 et 8 heures. Les échantillons étaient constitués de morceaux de viande bovine (30 à 50 g) prélevés au niveau des muscles fessiers. Ces zones sont particulièrement sollicitées lors d'injection de médicaments dont les antibiotiques, car les résidus qui y sont présents ne sont pas éliminés de la même manière (Sanquer et al., 2006). Par ailleurs, il a été montré que l'absorption du médicament dans la circulation sanguine dépend en partie du débit sanguin au niveau du muscle mais les résidus se retrouvent dans tout l'organisme. Les échantillons ainsi prélevés ont été conditionnés dans des sachets stériles, puis étiquetés et transportés dans une glacière contenant de la carboglace au Centre de contrôle qualité des denrées alimentaires (Cecoqda). Au laboratoire, ils ont été conservés dans un congélateur à -20 °C jusqu'aux analyses.

Echantillons d'œufs

A N'Djaména les œufs ont été achetés entre le 10 et 28 juillet au marché à mil, aux marchés de Dembé, de Diguel, et au grand marché, ainsi que dans trois points de vente en gros. A Moundou, ils ont été achetés entre le 24 août et 10 septembre aux marchés de Djerabé, de Desert,

de Guelba et au grand marché. Tous les œufs ont été transportés au Cecoqda et gardés au réfrigérateur entre 4 et 8 °C jusqu'aux analyses.

Recherche des résidus d'antibiotiques

Des kits de détection rapide (Premi®Test, DSM Nutritional Products, Geleen, Netherlands) ont été utilisés comme matériel d'analyse. PremiTest est un test standardisé pour la détection des substances antimicrobiennes dans la viande, le poisson, les œufs, les reins, l'urine, le sang et l'alimentation animale ; il est validé par l'Agence française de normalisation (Afnor). Nous avons par ailleurs choisi PremiTest, car sa technique est simple et à exécution rapide, permettant de détecter simultanément plusieurs familles d'antibiotiques.

Principe de PremiTest

PremiTest est basé sur l'inhibition du développement de *Bacillus stearothermophilus*, un micro-organisme très sensible à de nombreux résidus d'antibiotiques et aux sulfamides. Un nombre standardisé de spores est enrobé dans un excipient de gélose contenant des nutriments sélectionnés. Lorsque le jus de l'échantillon à tester est ajouté dans une ampoule de PremiTest et incubé à 64 °C, les spores vont germer. Ces spores germées vont se multiplier et acidifier le milieu en l'absence des substances inhibitrices. Ceci se traduit par un changement de couleur de l'indicateur qui vire du violet au jaune. Si les résidus antimicrobiens sont présents en quantité suffisante (au-dessus de la LMR), le germe ne se développe pas et la couleur reste violette.

Protocole de traitement des échantillons de viande

Chaque échantillon de viande a été pressé avec une multipresse fournie avec le kit, jusqu'à obtention de 250 µl de jus. Ensuite, 100 µl de ce jus ont été déposés dans les ampoules de test et laissés à température ambiante pour une préincubation de 20 min. Le jus de viande a été ensuite soigneusement éliminé des ampoules par rinçage avec de l'eau déminéralisée. Les ampoules ont été alors recouvertes d'un film fourni avec le kit et mises à incuber à 64,5 °C pendant 3 h environ. Un témoin négatif a été réalisé en parallèle et a permis d'arrêter l'incubation dès qu'il s'est coloré complètement en jaune.

Protocole de traitement des échantillons d'œufs

Nous avons prélevé et transféré 100 µl de la solution dans l'ampoule PremiTest après avoir homogénéisé dans un flacon le blanc et le jaune d'œuf. Puis, nous avons préchauffé les échantillons dans l'incubateur PremiTest pendant 10 min à 80 °C (préincubation). Après ce prétraitement, nous avons incubé les échantillons pendant environ trois heures à 64 °C ($\pm 0,5$ °C). Les résultats ont été lus lorsque le témoin négatif a viré du violet au jaune.

Interprétation des résultats

Selon le fabricant, « en l'absence d'antibiotiques (échantillon négatif), les spores germent et se développent, entraînant l'acidification du milieu et un changement de couleur qui passe du violet au jaune. Inversement, en présence d'antibiotiques, les spores sont inhibées et ne se développent pas. Dans ce cas la coloration du milieu demeure violette » (figure 1).

■ RESULTATS

Prévalence des résidus d'antibiotiques dans la viande

Sur les 166 échantillons de viande testés, 72 ont révélé la présence de résidus d'antibiotiques, soit une prévalence de 43,3 % (intervalle de confiance [IC] à 95 % : [35,76–50,84 %]) (tableau I). Quel qu'ait été le site de prélèvement, les prévalences ont été comparables ($p > 0,05$). Toutefois, une prévalence de 53,8 % (IC à 95 % [43,5–64,1 %]) a été obtenue chez les femelles, valeur significativement ($p < 0,05$) plus élevée que chez les mâles (IC à 95 % [20,2–41,1 %]).

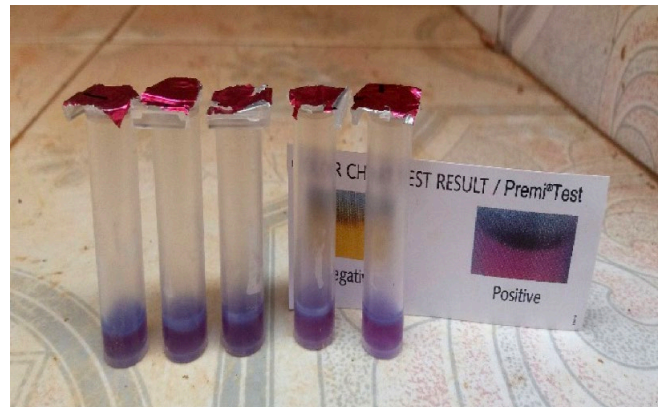
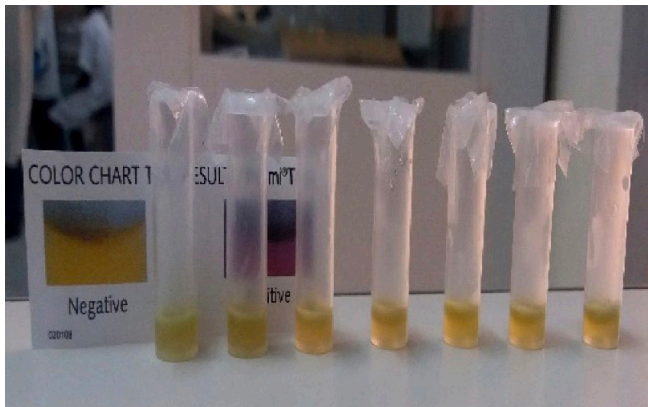


Figure 1 : PremiTest utilisé pour rechercher la présence de résidus d'antibiotiques dans les denrées alimentaires d'origine animale ; à gauche négatif ; à droite positif /// *PremiTest used to test for antibiotic residues in foodstuffs of animal origin; left negative; right positive*

Tableau I : Prévalence de résidus d'antibiotiques dans la viande bovine selon la ville et le sexe des animaux au Tchad /// *Prevalence of antibiotic residues in beef by city and sex of animals in Chad*

	Nb. positifs / Nb. d'échantillons	Prévalence (%)	IC à 95 %	P
Ndjamena	40/83	48,2	[37,4–58,9]	
Moundou	32/83	38,6	[28,1–49,1]	0,273
Mâle	23/75	30,7	[20,2–41,1]	
Femelle	49/91	53,8	[43,5–64,1]	**
Total	72/166	43,3	[35,76–50,84]	

IC : intervalle de confiance ; ** $p < 0,05$ /// *IC : confidence interval; ** $p < 0,05$*

Prévalence des résidus d'antibiotiques dans les œufs

Le tableau II montre que, sur 227 échantillons analysés, 60 se sont révélés positifs aux résidus d'antibiotiques, soit une prévalence de 26,4 % (IC à 95 % [20,67–32,13 %]). Il n'y a pas eu de différence significative ($p > 0,05$) entre les différents sites de prélèvement.

Tableau II : Prévalence de résidus d'antibiotiques dans les œufs selon la ville au Tchad /// *Prevalence of antibiotic residues in eggs by city in Chad*

	Nb. positifs / Nb. d'échantillons	Prévalence (%)	IC à 95 %	P
Ndjamena	35/113	30,9	22,3–39,4	
Moundou	25/114	21,9	13,8–28,9	0,134
Total	60/227	26,4	20,67–32,13	

IC : intervalle de confiance /// *IC : confidence interval*

DISCUSSION

La prévalence de notre étude de 43,3 % est similaire à celle de 42 % rapportée par Chataigner et Stevens (2003) sur la détection des résidus d'antibiotiques dans les populations de bovins abattus dans les abattoirs de Dakar, et de 45,6 % rapportée par Muriuki et al. (2001) lors d'études dans plusieurs abattoirs de Nairobi au Kenya. La prévalence de la présente étude est supérieure à celle de 5,5 % obtenue par Van et al. (2006) au Vietnam en utilisant la méthode des quatre plaques. Cela pourrait être dû à la sensibilité plus faible de la méthode utilisée, comparée au PremiTest (Fabre et al., 2004) (Afnor 2006).

La prévalence de notre étude est supérieure à celle de 7,4 % obtenue par Kabir et al. (2002) au Nigeria chez des bovins. Cette différence pourrait être due à la sensibilité de la méthode utilisée, à l'utilisation abusive d'antibiotiques, au non-respect des délais d'attente après leur administration, à la non-consultation des vétérinaires avant leur utilisation, ou à l'absence de formation des éleveurs en production animale (Donkor et al., 2011 ; Emiri et al., 2014 ; Aalipour et al., 2015). La prévalence de 43,3 % a été inférieure à celles obtenues par Olatoye et al. (2009) de 54,44 % et par Adesokan et al. (2013) de 100 % au Nigeria, et par Ibrahim (2016) de 70,55 % au Cameroun. Selon Kantati (2011), ces différences sont dues « sans doute à la manière dont les antibiotiques sont utilisés par les acteurs de l'élevage. En effet, l'accessibilité aux antibiotiques et leur usage par les paysans et les éleveurs échappent complètement à tout contrôle. L'abondance de ces médicaments sur le marché et la facilité d'accès, l'ordonnance n'étant plus une exigence nous conduit à poser l'hypothèse d'une utilisation abusive et très fréquente des antibiotiques. » En outre, à Madagascar, la peur des éleveurs et des intermédiaires (commerçants, bouchers) de perdre leurs animaux avant la vente les amène à les traiter sans respecter les délais d'attente ; afin de limiter la perte de revenu causée par la mort d'animaux malades, ils amènent souvent à l'abattoir ceux qu'ils n'ont pas réussi à soigner (Rakotoharinome et al., 2014). De ce fait, la mauvaise qualité des médicaments est mentionnée par certains auteurs pour expliquer la présence de leurs résidus dans les produits d'origine animale (Myllyniemi, 2004). Cette mauvaise qualité d'antimicrobiens aurait des causes multifactorielles (médicaments d'origine douteuse, frelatés, mauvais conditionnement et/ou conservation). Messomo (2006) et Tomdieu (2013) rapportent que la majorité des médicaments vendus au Nigeria sont de qualité douteuse et le Cameroun est l'un des pays où ces produits sont écoulés.

La prévalence a varié significativement selon le sexe et a été plus forte chez les femelles que chez les mâles. Ceci est similaire au résultat rapporté par Issa Garba (2012) en Mauritanie. Cette forte prévalence chez les femelles pourrait s'expliquer par le fait que celles-ci sont généralement gardées plus longtemps pour leur permettre d'assurer leur rôle de reproductrice, et elles ne sont abattues que si elles sont en fin de carrière ou si un traitement a échoué.

Plus d'un quart des 227 œufs analysés ont été détectés positifs à des résidus d'antibiotiques. Ce résultat est similaire à celui de 21,4 % rapporté par Nonga et al. (2008). En revanche, Niyibizi (2012) et Zerbo (2014) rapportent des prévalences de résidus d'antibiotiques beaucoup plus fortes avec respectivement 33 % et 77 %. Au contraire, les résultats obtenus par Ibrahim (2016) sur les œufs collectés dans différents points de vente dans plusieurs villes du Cameroun et analysés dans les mêmes conditions d'étude sont nettement inférieurs (15,8–17 %) au nôtre. Cette différence serait due au fait que, contrairement au

Tchad, l'aviculture camerounaise est en pleine expansion ; les opérateurs emploient des vétérinaires qui assurent le suivi rigoureux des activités de prophylaxie sanitaire et médicale (Teleu, 2008). Le manque d'informations et de formations des éleveurs tchadiens pourrait aussi expliquer cette prévalence. Les mesures de biosécurité ne sont pas bien connues des aviculteurs, ce qui explique qu'elles soient peu appliquées. Une insuffisance de la réglementation sur la filière avicole est observée. Selon le Plan national de développement de l'élevage (PNDE, 2017) « la réglementation sur les médicaments vétérinaires reste trop souvent peu actualisée, peu ou mal appliquée lorsqu'elle existe ; une telle situation favorise notamment la détention, la distribution et l'utilisation des médicaments vétérinaires, très souvent par des personnes sans qualification qui échappent aux services du ministère en charge de l'élevage ; des importations frauduleuses de médicaments ; la vente non réglementée de médicaments vétérinaires ; la mauvaise utilisation des médicaments vétérinaires (non-respect du temps d'attente, utilisateurs non qualifiés) ; l'introduction de médicaments vétérinaires illicites, de qualité et d'origine douteuses [...] la prolifération des produits contrefaits et d'origine douteuse (porosité des frontières) ».

CONCLUSION

Cette étude a révélé la présence de résidus d'antibiotiques dans la viande bovine et les œufs de poules de N'Djaména et Moundou. Au Tchad, aucune information sur la présence de résidus d'antibiotiques dans les denrées alimentaires d'origine animale commercialisées sur les marchés n'existe à notre connaissance. Il importe donc de porter une attention particulière à l'utilisation des antibiotiques notamment sur le respect du délai d'attente. Leur mauvaise utilisation expose la population consommatrice de viande et d'œufs à un risque sanitaire ; même si les données épidémiologiques sur l'impact des effets des résidus sont rares, elles indiquent que la nourriture pourrait être un véhicule important pour l'évolution et la diffusion de bactéries résistantes aux antimicrobiens. La méthodologie que nous avons utilisée pour l'obtention de ces résultats est qualitative. Il serait nécessaire de poursuivre les recherches avec des méthodes quantitatives pour pouvoir identifier et quantifier les différentes molécules d'antibiotiques incriminées afin d'estimer les risques encourus par les consommateurs.

Remerciements

Nous tenons à remercier l'ensemble du personnel administratif et technique du Centre de contrôle qualité des denrées alimentaires pour leur contribution à cette étude.

Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts.

Déclaration des contributions des auteurs

MMMM et AZP ont participé à la conception et à la planification de l'étude ; SAA a recueilli les données de terrain et effectué les analyses de laboratoire ; SAA et SBI ont analysé et interprété les données ; SAA et SBI ont rédigé la première version du manuscrit ; MMMM, AZP et DSI ont révisé le manuscrit.

REFERENCES

Aalipour F., Mirlohi M., Jalali M., Azadbakht L., 2015. Dietary exposure to tetracycline residues through milk consumption in Iran. *J. Env. Health Sci. Eng.*, **13**: 80, doi: 10.1186/s40201-015-0235-6

Abiola FA., Biaou C., Faure P., 1999. Bon usage du médicament vétérinaire et résidus médicamenteux dans les aliments. In : 4^e séminaire sur les médicaments vétérinaires en Afrique, Dakar, EISMV, 6-10 déc., Paris, France, OIE, 125-128

Adesokan H.K., Agada C.A., Adetunji V.O., Akanbi I.M., 2013. Oxytetracycline and penicillin-G residues in cattle slaughtered in southwestern Nigeria: implications for livestock disease management and public health. *J. S. Afr. Vet. Assoc.*, **84** (1): 5

Cazeau G.M., Chazel N., Jarrige C., Sala D., Calavas, E., Gay E., 2010. Utilisation des antibiotiques par les éleveurs en filière bovine en France. *Rech. Rumin.*, **17**: 71-74

Châtagner B., Stevens A., 2003. Investigation sur la présence de résidus d'antibiotiques dans les viandes commercialisées à Dakar, Institut Pasteur de Dakar, Sénégal, **51**: 3-7

Donkor E.S., Newman M.J., Tay S.C.K., Dayie N.T.K.D., Bannerman E., Olu-Taiwo M., 2011. Investigation into the risk of exposure to antibiotic residues contaminating meat and egg in Ghana. *Food Control*, **22** (6): 869-873, doi: 10.1016/j.foodcont.2010.11.014

Emiri A., Myftari E., Çoçoli S., Treska, E., 2014. Determination of oxytetracycline, tetracycline and chlortetracycline in beef meat by HPLC-DAD detector in Albania. *Albanian J. Agric. Sci.* (Special edition), 489-493

Fabre M., Mircovich C., Geijpe E., Moretain P., Beneteau E., Martinau G., 2004. Résidus d'antibiotique dans la viande de porc et de volaille en France ; situation actuelle et évaluation d'un nouveau test de détection. Bulletin des groupements techniques vétérinaires. 23 p.

FAO, 2007. Production d'œuf de consommation. Rome, Italie, 103 p.

Giguère S., Prescott J.F., Dowling P.M., 2013. Antimicrobial therapy in veterinary medicine. Wiley Blackwell, 5th Edition, Ames, Iowa, USA. 675 p., doi: 10.1002/9781118675014

Ibrahim D., 2016. Prévalence et perception des risques des résidus d'antibiotiques dans les denrées alimentaires d'origine animale par les consommateurs à Yaoundé, Douala et Ngaoundéré, Cameroun. Thèse doct. vét., Cameroun, 87 p.

Issa Garba A.R., 2012. Evaluation des pratiques d'utilisation des médicaments vétérinaires et détermination de la prévalence des résidus d'antibiotiques dans la viande et le lait dans le Gorgol en Mauritanie. Mém. master en santé publique vétérinaire, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal, 32 p.

Kabir J., Umoh J.U., Umoh V.J., 2002. Characterisation and screening for antimicrobial substances of slaughtered cattle in Zaria, Nigeria. *Meat Sci.*, **61**, 435-439, doi: 10.1016/s0309-1740(01)00217-0

Kantati Y.T., 2011. Détection des résidus d'antibiotiques dans les viandes de bovins prélevées aux abattoirs de Dakar. Mém. Master, Dakar, Sénégal, 1-20

Mensah S.E.P., Laurentie M., Salifou S., Sanders P., Mensah G.A., Abiola F.A., Koudandé O.D., 2014. Usage des antibiotiques par les éleveurs au Centre du Bénin, quels risques pour la santé publique ? *Bull. Rech. Agron.*, **75**: 1-16

Messomo F.N., 2006. Etude de la distribution et de la qualité des médicaments vétérinaires au Cameroun. Thèse Doct., Ecole Inter-Etats des sciences et médecine Vétérinaires, Dakar, Sénégal, 114 p.

Muriuki K., Ogara W., Njeruh F., Mitema S., 2001. Tetracycline residue levels in cattle meat from Nairobi slaughterhouse in Kenya. *J. Vet. Sci.*, **2** (2): 97-101

Myllyniemi A.L., 2004. Development of microbiological methods for the detection and identification of antimicrobial residues in meat. Doct. Dissert., University of Helsinki, National Veterinary and Food Research Institute, Helsinki, Finland, 87 p.

Nickell J.S., White B.J., 2010. Metaphylactic antimicrobial therapy for bovine respiratory disease in stocker and feedlot cattle. *Vet. Clin. North America: Food Anim. Pract.*, **26** (2): 285-301, doi: 10.1016/j.cvfa.2010.04.006

Niyibizi B., 2012. Etude préliminaire sur l'utilisation des antibiotiques dans les élevages de poules pondeuses de la région de Dakar et la présence de résidus d'antibiotiques dans les œufs. Mém. Master, Dakar, Sénégal, 31 p.

Nonga H.E., Simon C., Karimuribo E.D., Mdegela R.H., 2009. Assessment of antimicrobial usage and residues in commercial chicken eggs from small-holder poultry keepers in Morogoro municipality, Tanzania. *Zoonoses Public Health*, **57**: 339-344, doi: 10.1111/j.1863-2378.2008.01226.x

Olatoye I.O., Ehinmowo A.A., 2009. Oxytetracycline residues in edible tissues of cattle slaughtered in Akure, Nigeria. *Internet J. Food Safety*, **11**: 62-66

PNDE, 2017. PNDE 2017-2021. Ministère de l'Economie et de la Planification du Développement, République du Tchad, 77 p.

Rakotoharinome M., Pognon D., Randriamparany T., et al., 2014. Prevalence of antimicrobial residues in pork meat in Madagascar. *Trop Anim Health Prod* **46**: 49-55, doi: 10.1007/s11250-013-0445-9

Sanquer A., Wackowicz G., Havrileck B., 2006. Qualitative assessment of human exposure to consumption of injection site residues. *J. Vet. Pharm. Ther.*, **29** (5): 345-353, doi: 10.1111/j.1365-2885.2006.00753.x

Teleu N.E., 2008. Rapport final état des lieux et propositions d'actions prioritaires. Minepia/FAO, Yaoundé, 79 p.

Tomdieu T.D., 2013. Etude de la distribution des médicaments vétérinaires et de leur utilisation par les éleveurs sédentaires dans la région de l'Extrême-Nord du Cameroun. Thèse Ing. Institut Supérieur du sahel, Université de Maroua, Cameroun, 108 p.

Van N.D., Paulsen P., Suriyasathaporn W., Smulders F.J.M., Kyule M.N., Baumann M.P.O., Zessin K.H. et al., 2006. Preliminary analysis of tetracycline residues in marketed pork in Hanoi, Vietnam. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **1081** (1): 534-542, doi: 10.1196/annals.1373.081

Zerbo L.H., 2014. Etude primaire sur l'utilisation des antibiotiques dans les élevages de poules pondeuses et la présence de résidus d'antibiotiques dans les œufs commercialisés à Ouagadougou (Burkina Faso). Thèse, EISMV, Dakar, Sénégal

Summary

Amine Alhadj S., Soudy Imar D., Zoli Pagnah A., Mouiche Mouliom M.M., Bagari Iya S. Antibiotic residues in beef and eggs sold in N'Djamena and Moundou (Chad)

In recent decades, the intensification of animal production has been enhanced by the use of veterinary drugs, particularly antibiotics. In this context, this study was conducted to investigate the presence of antibiotic residues in food products of animal origin such as cattle meat and hen eggs. Samples were taken (166 from beef and 227 from eggs) from different slaughterhouses and selling points in the cities of N'Djamena and Moundou in Chad. The results showed the presence of antibiotic residues in 72 of 166 meat samples, representing a prevalence of 43.3%, and in 60 of 227 egg samples, representing a prevalence of 26.4%. These high percentages of antibiotic residues in frequently consumed foods are of public health concern. Studies with more extensive quantitative methods should be conducted to identify the nature of the antibiotics present in these foods, as well as to quantify their levels.

Keywords: antibiotic residues, beef, eggs, Chad

Resumen

Amine Alhadj S., Soudy Imar D., Zoli Pagnah A., Mouiche Mouliom M.M., Bagari Iya S. Residuos de antibióticos en la carne bovina y los huevos vendidos en Yamena y Moundou (Chad)

En las últimas décadas, la intensificación de la producción ganadera se ha visto favorecida por el uso de medicamentos veterinarios, en particular de antibióticos. En este contexto, este estudio se llevó a cabo para investigar la presencia de residuos de antibióticos en alimentos de origen animal, como la carne de bovino y los huevos de gallina. Se tomaron muestras (166 de carne bovina y 227 de huevos) en diferentes puntos de sacrificio y comercio de las ciudades de Yamena y Moundou, en el Chad. Los resultados mostraron la presencia de residuos de antibióticos en 72 de las 166 muestras de carne, una prevalencia del 43,3 %, y en 60 de las 227 muestras de huevos, una prevalencia del 26,4 %. Estos elevados porcentajes de residuos de antibióticos en los productos alimenticios consumidos frecuentemente, constituyen un problema de salud pública. Deberían realizarse estudios con métodos cuantitativos más exhaustivos para identificar la naturaleza de los antibióticos presentes en estos productos alimenticios, así como para cuantificar sus contenidos.

Palabras clave : residuos de antibióticos, carne de res, huevos, Chad

