Available online at http://www.ifgdg.org

Int. J. Biol. Chem. Sci. 19(6): 2675-2684, December 2025

ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

International Journal of Biological and Chemical Sciences

Original Paper http://ajol.info/index.php/ijbcs http://indexmedicus.afro.who.int

Dynamique de la végétation de Franceville (Sud-Est, Gabon) au Fini-Holocène

Mike Castane MAKAYA M'VOUBOU*, Norbert ONDO ZUE ABAGA, Victory OBAME NFOUMOU et Minerve Primaelle BIHAYITOU

Université des Sciences et Techniques de Masuku, BP 913 Franceville, Gabon.
**Auteur correspondant ; E-mail : makaya.mvoubou@gmail.com ; Téléphone : +24166965725*

Received:18-03 2025 Accepted: 14-10-2025 Published: 31-12-2025

RESUME

Le présent travail était consacré à la dynamique de la végétation de Franceville (Sud-Est du Gabon) au Fini-Holocène. Il portait sur l'étude de la matière organique de sol (m.o.s) par la méthode de $\delta^{13}C$. Cette m.o.s provenait d'une part des prélèvements verticaux effectués dans trois profils pédologiques et d'autre part des prélèvements de surface réalisés le long d'un transect forêt-savane de 16 mètres reliant les dits profils pédologiques. Les valeurs de $\delta^{13}C$ m.o.s des prélèvements de surface le long du transect étaient comprises entre -28,75 et -15,40‰. Elles indiquaient une colonisation de la savane par la forêt due à la phase humide que connait actuellement l'Afrique centrale atlantique. Concernant les valeurs de $\delta^{13}C$ m.o.s des trois profils (prélèvements verticaux), elles montraient des courbes qui avaient la même tendance s'organisant en deux phases. La première phase allait de la base des trois profils jusqu'à 10 cm environ vers les sommets de ceux-ci avec respectivement des valeurs de $\delta^{13}C$ m.o.s de -21,66‰ et -17,77‰. Cette phase montrait que la base des trois profils correspondait à une mosaïque forêt-savane qui s'était dégradée au cours du temps avec des savanes plus étendues que les forêts initiales. Ce qui s'expliquerait vraisemblablement par péjoration climatique que l'Afrique centrale a connue il y a *ca.* 2500 ans BP. La seconde phase présentait sur les dix derniers centimètres environ des trois profils, une diminution des valeurs de $\delta^{13}C$ m.o.s qui allaient de -17,77‰ à -20,33‰. Cette évolution montrait une densification de la mosaïque forêt-savane précédente marquée progressivement par une amplification des aires forestières au détriment des aires savanicoles. Ceci s'expliquait par l'humidification du climat ayant suivi la péjoration climatique qui caractérisait la première phase. La dynamique de la végétation de Franceville serait donc due aux variations paléoclimatiques.
© 2025 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Fini-Holocène, $\delta^{13}C$, matière organique de sol, végétation, Franceville, Gabon

Vegetation dynamics in Franceville (southeast Gabon) during the Terminal Holocene

ABSTRACT

This study focused on the dynamics of vegetation in Franceville (southeastern Gabon) during the Late Holocene. It involved the study of soil organic matter (SOM) using the $\delta^{13}C$ method. This SOM came from vertical samples taken from three soil profiles and from surface samples taken along a 16-meter forest-savanna transect connecting the soil profiles. The $\delta^{13}C$ SOM values of the surface samples along the transect ranged from -28.75 to -15.40‰. They indicated colonization of the savanna by the forest due to the wet phase currently

© 2025 International Formulae Group. All rights reserved.
DOI : https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v19i6.27

affecting Atlantic Central Africa. The $\delta^{13}C$ SOM values of the three profiles (vertical samples) showed curves with the same trend, organized into two phases. The first phase extended from the base of the three profiles to approximately 10 cm towards their tops, with $\delta^{13}C$ SOM values of -21.66‰ and -17.77‰, respectively. This phase showed that the base of the three profiles corresponded to a forest-savanna mosaic that had degraded over time, with savannas becoming more extensive than the original forests. This can probably be explained by the climate deterioration that Central Africa experienced approximately 2,500 years BP. The second phase showed a decrease in $\delta^{13}C$ SOM values ranging from -17.77‰ to -20.33‰ over the last ten centimeters or so of the three profiles. This change showed a densification of the previous forest-savanna mosaic, marked by a gradual increase in forest areas at the expense of savanna areas. This was explained by the humidification of the climate following the climatic deterioration that characterized the first phase. The dynamics of the vegetation in Franceville would therefore be due to paleoclimatic variations.
© 2025 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords : Terminal Holocene, $\delta^{13}C$, soil organic matter, vegetation, Franceville, Gabon.

INTRODUCTION

Situé en Afrique centrale atlantique, le Gabon est connu pour sa riche biodiversité et sa couverture végétale luxuriante. Cette dernière caractérisée par une grande variété d'écosystèmes dominés par 80% de forêt et de 20% de savane (Maloba Makanga, 2011). Dans plusieurs régions du pays comme Franceville (Sud-Est), ces forêts et savanes forment des mosaïques dites de forêt-savane très remarquables et étonnantes sous climat équatorial humide favorable au développement des forêts.

Depuis les années 90, plusieurs études (Maley, 1992 ; Giresse et al., 1994 ; Elenga et al., 1996 ; Giresse et al., 2009) ont permis de comprendre l'histoire de la végétation de l'Afrique centrale atlantique et donc d'expliquer l'occurrence des savanes dans cette région du monde. Bien que cette thématique reste toujours débattue, nombreuses sont des études qui ont confirmé les travaux de Maley (1992) qui avait démontré que l'Afrique centrale atlantique avait connu, entre 2500 - 2000 ans BP une péjoration climatique qui avait changé le visage de sa végétation. La réponse à cette détérioration climatique n'avait ni été synchrone, ni été identique à l'échelle de la région. En effet, cette détérioration climatique caractérisée par une diminution substantielle des précipitations avait entraîné la disparition de certaines espèces végétales comme au Lac Kitina au Congo (Elenga et al., 1996) et l'installation des savanes incluses au Lac Barombi-Mbo au Cameroun (Giresse er al., 1994). Après cet épisode climatique sec, était apparu un climat plus humide qui avait entraîné un regain forestier précoce sur certains sites comme au Lac Barombi-Mbo à partir 2000 ans BP (Maley et al., 1994) ou assez tardif (autour de 450 ans BP) au lac Kitina au Congo (Elenga et al., 1996). On peut ainsi retenir qu'au Fini-Holocène, l'Afrique centrale atlantique avait connu épisode climatique sec entre 2500 – 2000 ans BP puis, un épisode plus humide qui se poursuit jusqu'aujourd'hui.

Dans le Sud Est du pays du Gabon, l'histoire de la mosaïque forêt-savane de Franceville demeure très peu connue bien que selon Makaya et al. (2012a), cette histoire reste globalement identique à celle de plusieurs autres sites d'Afrique centrale atlantique.

L'objectif de cette étude est de contribuer à la connaissance de la dynamique de la mosaïque forêt-savane de la localité de Franceville à partir des analyses de $\delta^{13}C$ de la m.o.s issue de trois profils de sols réalisés le long d'un transect forêt-savane dont la m.o.s prélevée en surface a été également analysée par le même proxy.

MATERIEL ET METHODES

Matériel

La matière organique des sols étudiée ici a été prélevée à l'Ouest de la ville de Franceville (Sud-Est du Gabon) à 30 km environ de celle-ci sur l'axe menant à Moanda, précisément au point de coordonnées 01° 38'55.9"S et 013°22'03.7"E (Figure 1). Deux types de prélèvements y ont été réalisés : un en surface (horizontalement), le long d'un transect forêt-savane N-S de 16 mètres (Figure 2). Neuf (09) échantillons composés essentiellement d'humus y ont été prélevés suivant un pas de 2 mètres. L'autre prélèvement a été fait en profondeur (verticalement). Il s'agit de trois profils de sols réalisés le long du même transect dont un sous savane, un sous lisière et un sous forêt (Figure 2). Suivant globalement un pas d'échantillonnage de 10 cm, Neuf (09) échantillons ont été prélevés au sein du profil sous savane épais de 85 cm, onze (11) échantillons dans le profil sous lisière épais de 92 cm et sept (07) dans le profil sous forêt ayant une épaisseur de 72 cm.

Méthodes

Les analyses effectuées sont biogéochimiques portant sur la mesure de deux proxys : le carbone organique total et l'abondance naturelle du ^{13}C ($\delta^{13}C$) de la matière organique des sols (m.o.s). Ces analyses ont été faites au laboratoire de spectrométrie isotopique de l'Université de Tartu en Estonie.

Carbone organique total

Il a été mesuré sur des échantillons bruts préalablement décarbonatés à l'acide chlorhydrique. Ces mesures ont été effectuées à l'aide d'un spectromètre de masse couplé à un analyseur élémentaire de type CHN. Elles permettent de suivre l'évolution du carbone organique en fonction de la profondeur. Elles n'ont porté que sur les prélèvements verticaux.

Abondance naturelle du ^{13}C ($\delta^{13}C$) de la m.o.s

Le $\delta^{13}C$ de la m.o.s a été mesuré au spectromètre de masse sur des échantillons bruts préalablement décarbonatés. Les résultats sont exprimés en mille (‰) par rapport au IAEN-1 qui est un standard international ayant des valeurs fixes avec le PDB (Pee Dee Belemnite). Le standard IAEN-1 est délivré par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique. La formule du $\delta^{13}C$ est la suivante :

$$\delta^{13}C = [(R_{éch}/R_{stand}) - 1] \times 1000 \quad \text{où } R = {}^{13}C/{}^{12}C$$

Le $\delta^{13}C$ de la mos est un outil couramment utilisé par plusieurs auteurs (Mariotti, 1991 ; Schwartz et al., 1992 ; Makaya et al., 2012a ; Desjardins et al., 2013) pour la reconstitution des écosystèmes tropicaux. En effet, selon les travaux de Bender (1968), Smith et Epstein (1971), les végétaux sont classés suivant le cycle photosynthétique auquel ils appartiennent. Les espèces herbacées des régions tempérées et froides ainsi que tous les arbres utilisent le cycle de Calvin Benson dit en C_3 et incorporent beaucoup moins de ^{13}C que le font les plantes utilisant le cycle photosynthétique en C_4 dit cycle de Hatch et Slack. Ces plantes en C_4 sont principalement des *Chénopodiacées* et des graminées des régions tropicales (Mariotti, 1991), mais aussi des *Cypéracées* et des *Poacées*. Les plantes qui suivent le cycle en C_4 présentent une composition isotopique comprise -18 et -12‰ et celles qui suivent le cycle en C_3 ont un $\delta^{13}C$ variant entre -31‰ et -25‰ avec une valeur modale autour de -27‰. En milieu tropical, les valeurs de $\delta^{13}C$ intermédiaires entre les plantes en C_3 et celles en C_4 constituent un couvert végétal mixte (mosaïque forêt/savane). Ces valeurs de $\delta^{13}C$ des plantes ont la même signification pour celles de $\delta^{13}C$ de la m.o.s en milieu tropical (Schwartz, 1991).

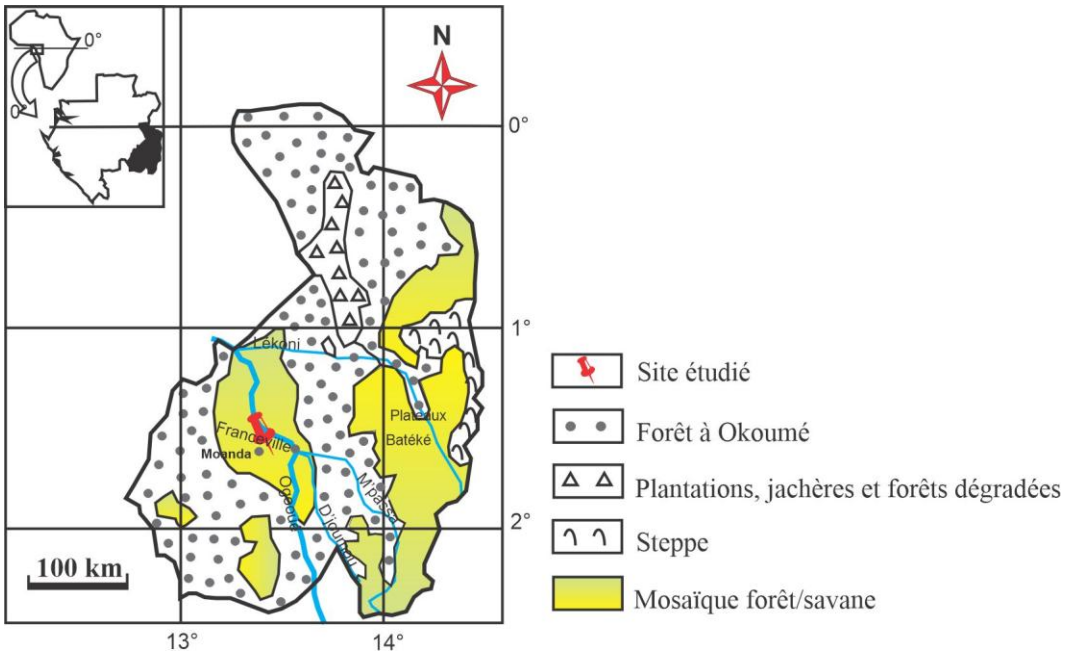


Figure 1 : Carte de la végétation du Haut-Ogooué (modifiée d'après Caballé 1983).

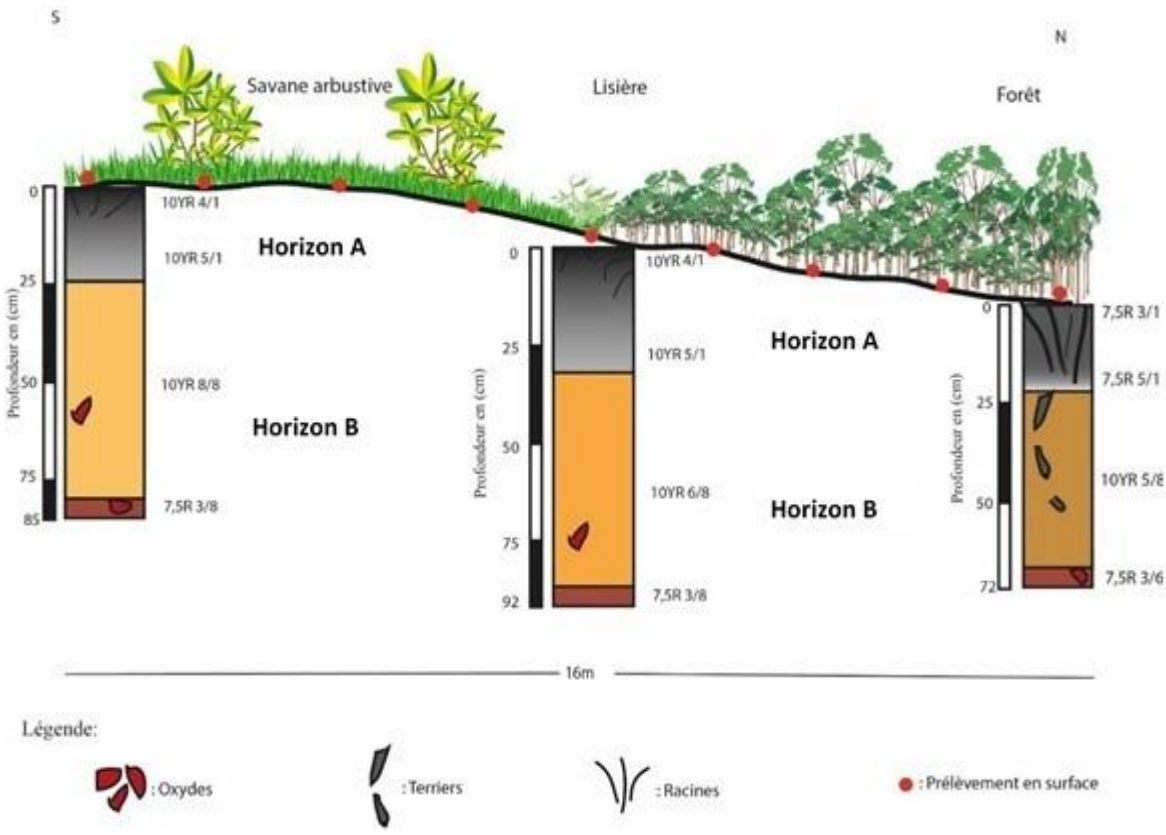


Figure 2 : Représentation schématique du transect forêt-savane et des profils étudiés.

RESULTATS

Prélèvements de surface

Le $\delta^{13}C$ de l'humus le long du transect forêt-savane varie entre -15,40 et -28,75‰ (Figure 3). Dans la savane arbustive les valeurs du $\delta^{13}C$ sont quasi constantes (-15,50‰) alors qu'à la lisière, elles décroissent considérablement jusqu'à -19,48‰. Enfin, dans la forêt, elles continuent à décroître jusqu'à -28,75‰ avant de croître pour atteindre la valeur de -25,82‰.

Prélèvements verticaux

Carbone organique total

Le carbone organique total a des évolutions quasi similaires dans les trois profils à savoir qu'il diminue avec la profondeur (Figure 4A). On peut néanmoins noter que ce carbone organique est plus abondant dans l'horizon A (0 à 25 cm) du profil sous litière que les horizons A des deux autres profils.

Variations verticales du $\delta^{13}C$

Les trois profils des sols du transect N-S (Figure 4B) montrent des courbes de $\delta^{13}C$ de la m.o.s qui suivent globalement la même tendance mais avec des différences plus ou moins marquées.

Les valeurs de $\delta^{13}C$ de la courbe du profil sous savane sont comprises entre -21,75‰ (à 69 cm) et -12,13‰ (à 3 cm) soit une différence de 8‰ environ. A la base de la courbe, le $\delta^{13}C$ est de -19,55‰ puis, augmente assez fortement jusqu'à 3 cm de profondeur où il atteint -12,13‰ avant de décroître jusqu'à la surface du sol où il atteint -15,65‰.

Pour la courbe du profil sous lisière, les valeurs de $\delta^{13}C$ de la m.o.s varient entre -22,53‰ (à 77 cm) et -13,87‰ (à 7 cm). A la base de la courbe, le $\delta^{13}C$ est de -22,53‰ ensuite, il augmente fortement pour atteindre la valeur de -13,87‰ (à 7 cm de profondeur) et enfin, diminue en surface où il atteint la valeur de -19,46‰.

Pour terminer, la courbe du profil sous forêt présente des valeurs de $\delta^{13}C$ comprises entre -26,13‰ (en surface) et -15,27‰ (à 7 cm). Avec une valeur de -22,96‰ à la base de la courbe, le $\delta^{13}C$ de la m.o.s augmente pour atteindre la valeur de -15,27‰ à 7 cm de profondeur avant de décroître jusqu'en surface où il atteint la valeur de -26,13‰.

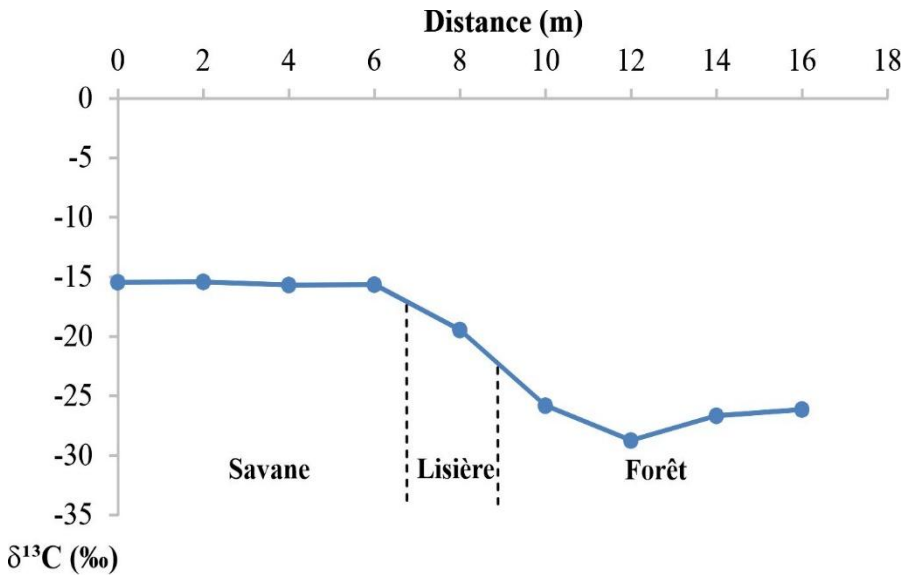


Figure 3 : Variation du $\delta^{13}C$ m.o.s le long d'un transect forêt-savane.

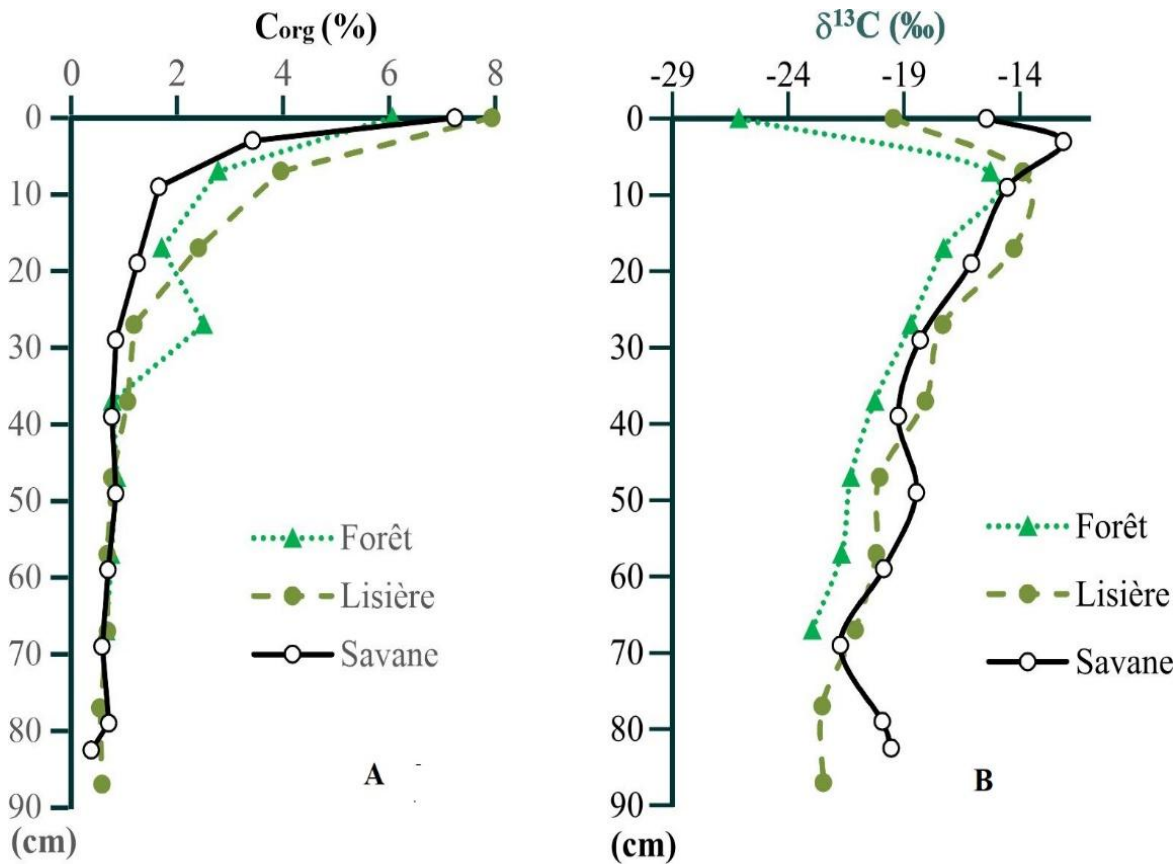


Figure 4 : Carbone organique total (A) et $\delta^{13}C$ de m.o.s (B) en fonction de la profondeur les profils sous savane, sous lisière et sous forêt.

DISCUSSION

Les résultats de ce travail permettent de tirer des enseignements sur l'état du carbone organique dans les trois profils de sol, sur la dynamique horizontale et verticale de la végétation.

Concernant le Corg, son évolution décroissante avec la profondeur est globalement identique dans les trois profils étudiés. C'est une évolution classiquement observée dans la plupart des sols tropicaux (Brunet et al., 2007). Cela s'explique par une minéralisation de la matière organique avec la profondeur (Sebag, 2004).

La courbe de $\delta^{13}C$ de la m.o.s des prélèvements de surface réalisés le long du transect forêt–savane montre des valeurs en équilibre avec les formations végétales traversées. Ainsi, ces valeurs globalement constantes dans la savane, décroissent dès qu'on arrive dans la zone à fougères (lisière) puis, ne deviennent typiquement forestières une fois à l'intérieur de l'écosystème forestier. Ce résultat est en accord avec celui de Schwartz (1991) et permet d'affirmer ici, que la forêt est actuellement en train de coloniser la savane. Cette dynamique latérale de la végétation de Franceville est mise en évidence dans plusieurs sites d'Afrique centrale atlantique malgré les brûlis qu'ils subissent. Elle est due à la phase climatique humide actuelle enregistrée dans cette partie du globe (Schwartz, 1991 ; Vincens et al., 2000 ; Elenga et al., 2004 ; Giresse et al., 2009 ; Makaya et al., 2012b).

Enfin, les résultats de $\delta^{13}C$ de la m.o.s de trois profils pédologiques montrent des tendances identiques qui sont en accord avec les travaux effectués dans les sites de mosaïque forêt-savane du Gabon (Delègue et al., 2001), du Congo (Schwartz, 1991) et du Cameroun (Desjardins et al., 2013). Les courbes de $\delta^{13}C$ de la m.o.s des trois profils nous ont permis d'établir des droites de corrélation. Les coefficients de corrélation (Figure 5) sont forts entre les profils sous savane et lisière (R^2 =0,82) et entre les profils sous forêt et lisière (R^2 =0,71) puis, faible entre les profils sous forêt et savane (R^2 =0,33). Ce qui prouve que les m.o.s des profils sous savane et lisière d'une part puis, sous forêt et lisière d'autre part sont fortement liées contrairement à celles des profils sous forêt et savane. Cela s'explique par la proximité des matières organiques des profils sous forêt et lisière puis, sous forêt et savane et par leur éloignement en ce qui concerne les profils sous forêt et savane. On peut donc dire que les m.o.s sous forêt et sous savane constitueraient deux pôles opposés alors que celles sous lisière et sous forêt d'une part puis, sous lisière et sous savane d'autre part seraient de la matière organique intermédiaire aux pôles forestier et savanicole.

Comme l'attestent plusieurs études en régions tropicales (Delègue et al., 2001 ; Desjardins et al., 2013), l'évolution verticale des courbes de $\delta^{13}C$ de la m.o.s correspond généralement à un changement de végétation qui dans la présente étude, se résume en deux phases distinctes. La première phase part de la base des trois profils de sols jusqu'à environ 10 cm avec respectivement des valeurs moyennes de $\delta^{13}C$ de la m.o.s de -21,66 et -17,77‰ qui traduisent un enrichissement en ^{13}C au cours du temps. Ce qui signifie que la matière organique à la base des profils, correspond à celle d'une mosaïque forêt savane relativement arborée qui s'est dégradée progressivement jusqu'à la fin de cette première phase se caractérisant désormais par des savanes plus étendues que les forêts.

La seconde phase correspond aux 10 derniers centimètres des trois profils. Elle montre une décroissance des valeurs moyennes de $\delta^{13}C$ de la m.o.s (de -17,77‰ à -20,33‰) qui marquent une densification de la mosaïque forêt savane précédente se traduisant cette fois ci par une extension des forêts au détriment des savanes. La présence actuelle des fougères au niveau de la lisière est la preuve de la fermeture progressive de cette végétation (Schwartz, 1991). La dynamique de la végétation ainsi décrite s'explique par l'évolution du climat en Afrique centrale atlantique au cours du Fini-Holocène. En effet, pour rappel, pendant le Fini-Holocène, l'Afrique centrale atlantique a connu deux principaux épisodes climatiques à savoir l'épisode de péjoration climatique ou épisode faiblement humide survenu entre 2500 – 2000 ans BP. Cet épisode s'est traduit par une dégradation de la forêt et l'installation des savanes. Le second épisode, quant à lui, plus humide a favorisé un regain forestier ou une colonisation des savanes par les forêts. En comparaison avec nos résultats et en l'absence des datations ^{14}C, on peut dire que ces deux épisodes climatiques sont à l'origine de la dynamique de la végétation de Franceville que nous avons décrite. Ainsi, l'extension des savanes au détriment des forêts lors de la première phase pourrait être due à la péjoration climatique. La densification de la mosaïque forêt savane correspondant à la seconde phase quant à elle, serait consécutive à la forte humidification du climat qui a succédé à l'épisode de péjoration climatique (Vincens et al., 2000 ; Elenga et al., 2004 ; Giresse et al., 2009).

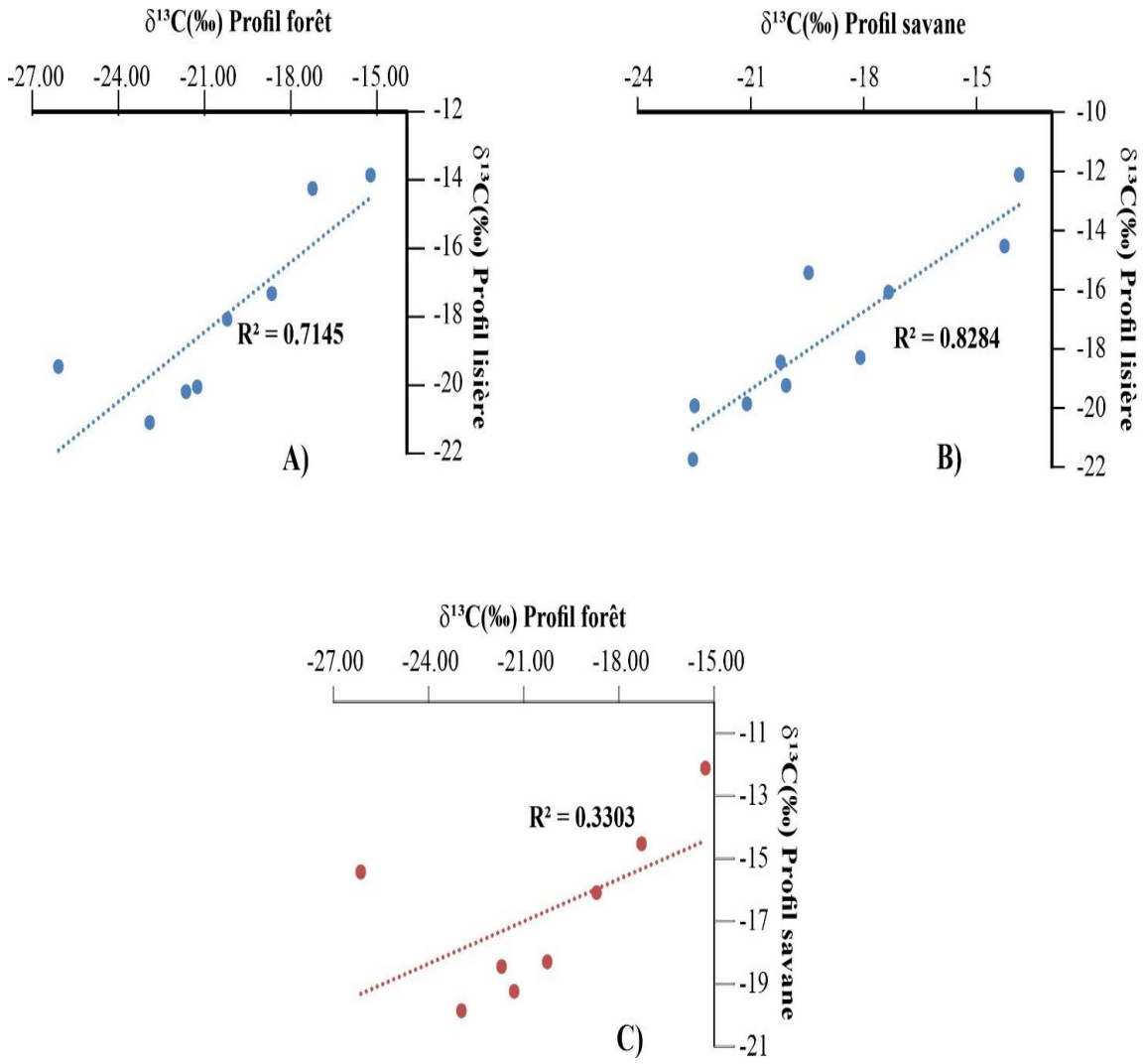


Figure 5 : Corrélations entre $\delta^{13}C$ de la m.o.s des profils. (A) Profil forêt - Profil lisière ; (B) Profil savane - Profil lisière ; (C) Profil forêt - Profil savane.

Conclusion

Cette étude nous a révélé que la végétation de Franceville au Fini-Holocène a évolué en deux phases. La première phase allant de la base des profils des sols jusqu'à 10 cm de profondeur correspondait à une mosaïque forêt savane qui s'était dégradée au cours du temps du fait vraisemblablement de la péjoration du climat de *ca.* 2500 ans BP. La seconde phase correspondant aux 10 derniers cm des profils a montré une densification de la mosaïque forêt-savane précédente suite à l'humidification du climat ayant succédé à la péjoration climatique. Les résultats du $\delta^{13}C$ de la m.o.s prélevée le long du transect forêt-savane ont confirmé cette seconde phase car ils ont souligné clairement la colonisation actuelle des savanes par les forêts. On peut donc dire que la dynamique de la végétation de Franceville a été contrôlée par le climat.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant cet article.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Tous les auteurs ont contribué à la conception et à la réalisation de ce travail. MCMM a réalisé le travail de terrain, l'analyse des données et la rédaction. PB a participé au travail de terrain. NOZA et VON ont relu le projet d'article et apporté des améliorations. La version finale a été validée par tous les auteurs.

REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre reconnaissance au Professeur Kalle Kirsimae de l'Université de Tartu (Estonie) pour nous avoir aidés à analyser les échantillons de cette étude.

RÉFÉRENCES

Bender MM. 1968. Mass spectrometric studies of carbon 13 variations in corn and other grasses. *Amer J. Sci. Radiocarbon (Suppl.),* **10**: 468-472. DOI: https://doi.org/10.1017/S0033822200011103

Brunet D, Barthes BG, Chotte J-L, Feller C. 2007. Determination of carbon and nitrogen contents in alfisols, oxisols and ultisols from Africa and Brazil using NIRS analysis: effects of sample grinding and set heterogeneity. *Geoderma,* **139**: 106–117. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.01.007

Caballé G. 1983. Végétation. Géographie et cartographie du Gabon. Ministère de l'Education Nationale du Gabon (dir. publ.), Vol. 1 ; 34-37.

Delègue MA, Fuhr M, Schwartz D, Mariotti A, Nasi R. 2001. Recent origin of a large part of the forest cover in the Gabon coastal area based on stable carbon isotope data. *Oecologia*, **129**: 106–113. DOI: https://doi.org/10.1007/s004420100696

Desjardins T, Turcq B, Nguetnkam JP, Achoundong G, Mandeng-Yogo M, Cetin F, Lézine AM. 2013. $\delta^{13}C$ variation of soil organic matter as an indicator of vegetation change during the Holocene in central Cameroon. *Comptes Rendus Geoscience,* **345** : 266–271. DOI: https://doi.org/10.1016/j.crte.2013.06.001

Elenga H, Schwartz D, Vincens A, Bertaux J, de Namur C, Martin L, Wirrmann D, et Servant M. 1996. Diagramme pollinique holocène du lac Kitina (Congo) : mise en évidence de changements paléobotaniques et paléoclimatiques dans le massif forestier du Mayombe. *C.R. Acad. Sci., Paris*. **323** (série IIa): 403-410.

Elenga H, Maley J, Vincens A, Farrera I. 2004. Palaeoenvironments, palaeoclimates and landscape development in Central Equatorial Africa: a review of key sites covering the last 25 kyrs. In *Past Climate Variability through Europe and Africa. Developments in Paleoenvironmental Research* (vol 6), Battarbee RW, Gasse F, Stickley CE (eds). Springer; 181–198. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2121-3_10

Giresse P, Maley J, Brenac P. 1994. Late Quaternary palaeoenvironments in the Lake Barombi Mbo (West Cameroon) deduced from pollen and carbon isotopes of matter. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* **107**: 65-78. DOI: https://doi.org/10.1016/0031-0182(94)90165-1

Giresse P, Makaya M, Maley J, Ngomanda A. 2009. Late Holocene equatorial environments inferred from deposition processes, carbon isotopes of organic matter, and pollen in three shallow lakes of Gabon, west-central Africa. *Journal of Paleolimnology*, **41**: 369–392. DOI: https://doi.org/10.1007/s10933-008-9231-5

Makaya M, Bentaleb I, Musavu MB, Moussavou M, Obame RM. 2012a. Evolution fini holocène de la végétation du bassin de Franceville (Sud Est du

Gabon) déduite du $\delta^{13}C$ de la matière organique de sol. *Africa Geoscience Review*, **19**: 17-23.

Makaya M, Moussavou MB, Moussavou M. 2012b. $^{13}C/^{12}C$ ratios of soil organic matter as indicators of vegetation changes in the Okondja basin (Gabon). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre,* **34** : 41-43.

Maley J. 1992. Mise en évidence d'une péjoration climatique entre *ca*. 2500 et 2000 ans BP en Afrique tropicale humide. *Bulletin de la Société Géologique de France,* **163** : 363–365.

Maloba Makanga JD. 2011. Mosaïque forêt-savane et exploitation des ressources forestières du Gabon. *Géo-Eco-Trop,* **35** : 41-50.

Mariotti A. 1991. Le carbone 13 en abondance naturelle, traceur de la dynamique de la matière organique des sols et de l'évolution des paléoenvironnements continentaux. *Cah. Orstom, ser. Pedol.,* ***XXVI*** (4) : 299-313.

Sebag D. 2002. Apports de la matière organique pour la reconstitution des paléoenvironnements holocènes de la basse vallée de la Seine : fluctuations des conditions hydrologiques locales et environnements de dépôt. Thèse de Doctorat, Université de Rouen, 356 p.

Schwartz D. 1991. L'intérêt de la mesure du ^{13}C des sols en milieu équatorial pour la connaissance des aspects pédologiques et écologiques des relations savane-forêt. Exemple du Congo. *Cah. Orstom, ser. Pedol.* ***XXVI*** (4): 327-341.

Smith BN, Epstein S. 1971. Two categories of $^{13}C/^{12}C$ ratios of higher plants. *Plant Physiology*, **47**: 380-384. DOI: https://doi.org/10.1104/pp.47.3.380

Vincens A, Elenga H, Reynaud-Farrera I, Schwartz D, Alexandre A, Bertaux J, Mariotti A, Martin L, Meunier JD, Nguetsop F, Servant M, Servant-Vildary S, Wirrmann D. 2000. Réponse des forêts aux changements du climat en Afrique Atlantique Equatoriale durant les derniers 4000 ans et héritage sur les paysages végétaux actuels. In *Dynamique à Long Terme des Ecosystèmes Forestiers Intertropicaux,* Servant M, Servant - Vildary S (eds). UNESCO : Paris ; 381-387.