

**Revue Congolaise des Sciences & Technologies**

ISSN: 2959-202X (Online); 2960-2629 (Print)

<https://www.csnrdc.net/>**OPEN ACCESS****REVUE
CONGOLAISE
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES****Effets du régime hydrologique et des perturbations anthropiques sur les caractéristiques des tourbières d'Inongo (République Démocratique du Congo)****« Effects of hydrological regime and anthropogenic disturbances on the characteristics of the Inongo peatlands (Democratic Republic of the Congo) »****Bernadette Ikio^{1*}, Guy Bayeli Ilumbe¹, Patrick Senga Mutonkole¹, Dodo Kasongo Ndonga², Glodi Kakoko Etepe³, Yannick Say Massebe^{2,3}, Ruben Bolilanga Iyolo², Nelson Bolompa Nkumunue^{2,3}, Jean-Robert Bankanza Bwangoy^{2,3}, Imam Basuki⁴ & Joseph Kasali Lumande¹**¹*Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, RD Congo*²*Wildlife Works Carbon, Kinshasa – Gombe, RD Congo*³*Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Université de Kinshasa, RD Congo*⁴*Wildlife Works Indonesia, Wisma GKBI, 12th Floor, Suite 1203 Jl. Jenderal Sudirman Kav. 28, Jakarta 10210, Indonesia***Résumé**

Les tourbières du bassin du Congo stockent d'énormes quantités de carbone mais sont vulnérables au changement climatique et aux pressions humaines qui affectent leur équilibre biogéochimique. Cette étude vise à évaluer les effets du régime hydrologique et des perturbations humaines sur les caractéristiques physico-chimiques et écologiques des tourbières d'Inongo dans la concession forestière d'Ecosystems Restoration Associates-Congo. Les données ont été collectées à partir de 18 sites d'échantillonnage. La profondeur de la tourbe, le pH, le niveau de la nappe phréatique, les marques d'inondation et l'ouverture de la canopée ont été mesurés. Des analyses statistiques ont été effectuées en utilisant les corrélations de Pearson, la régression linéaire et l'analyse en composantes principales. Les tourbières sont profondes (moyenne de 166,89 cm) et très acides (pH moyen de 4,06). La corrélation négative significative entre la laisse de crue et la canopée peut indiquer que l'amplitude des inondations affecte l'architecture forestière en facilitant une canopée ouverte. La décomposition verticale de la matière organique varie probablement avec les fluctuations historiques de l'eau, tandis que les marques de brûlure ne semblent pas avoir d'effet significatif sur la tourbe. La tourbière d'Inongo est un écosystème ombrotrophe solide pour survivre aux incendies actuels, mais cela n'est possible que si elle reste dans son régime hydrique naturel afin d'éviter la libération massive de carbone.

Mots-clés : Tourbières tropicales, régime hydrique, perturbations anthropiques, bassin du Congo**Abstract**

The peatlands of the Congo Basin store enormous amounts of carbon but are vulnerable to climate change and human pressures that affect their biogeochemical balance. This study aims to assess the effects of the hydrological regime and human disturbances on the physicochemical and ecological characteristics of the Inongo peatlands within the Ecosystems Restoration Associates-Congo forest concession. Data were collected from 18 sampling sites. Peat depth, pH, water table level, flood marks, and canopy openness were measured. Statistical analyses were performed using Pearson's correlations, linear regression, and principal component analysis. The peatlands are deep (average depth of 166.89 cm) and highly acidic (average pH of 4.06). The significant negative correlation between flood marks and canopy cover may indicate that the extent of flooding affects forest architecture by promoting an open canopy. The vertical decomposition of organic matter likely varies with historical water fluctuations, while burn scars do not appear to have a significant effect on the peat. The Inongo peatland is a robust ombrotrophic ecosystem capable of surviving current fires, but this is only possible if it remains within its natural hydrological regime to prevent the massive release of carbone.

Keywords: Tropical peatlands, hydrological regime, anthropogenic disturbances, Congo Basin.

*Auteur correspondant: Bernadette Ikio, (bhena.ikio@gmail.com). Tél. : (+243) 810 657 250

 <https://orcid.org/0009-0001-6763-5882>; Reçu le 09/07/2026; Révisé le 30/07/2026; Accepté le 19/08/2026

DOI: <https://doi.org/10.59228/rcst.026.v5.i3.332>

Copyright: ©2026 Ikio et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC-BY-NC-SA 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

1. Introduction

Situées à l'interface entre les milieux terrestres et aquatiques, les tourbières constituent des écosystèmes encore relativement peu étudiés, mais reconnus comme jouant un rôle crucial dans la régulation du climat mondial. Une tourbière est une zone humide caractérisée par l'accumulation de matière organique peu décomposée appelée tourbe d'au moins 30 à 40 cm à 80 % (Mutonkole, 2024 ; Pnue, 2022 ; National Wetlands Working Group, 1997 ; Pakarinen, 1995). Toutefois, la teneur en matière organique dans les sols tourbeux est, au minimum estimée à 50 %, mais peut atteindre 97 % (Girkin et al. 2020 ; Yuliano et al 2019 ; Comont 2006).

Les tourbières se caractérisent par leur capacité exceptionnelle à accumuler et à conserver le carbone organique, jusqu'à stocker environ deux fois plus de carbone que l'ensemble des forêts de la planète réunies (Yu et al., 2010). Grâce à cette fonction de séquestration à long terme, les tourbières sont considérées comme de véritables puits naturels de carbone, contribuant ainsi à l'atténuation du réchauffement climatique global (Gorham, 1991). À ce titre, elles jouent un rôle fondamental dans la régulation du cycle biogéochimique global du carbone (Lagoune & Muller, 2008 ; Joosten et al., 2012).

La République Démocratique du Congo (RDC), qui est l'un des neuf pays composant le bassin du Congo (superficie d'environ 3,7 millions de km²) a connu un basculement récemment après la découverte sur un territoire partagé avec la République du Congo (RC) du deuxième plus grand complexe tourbeux tropical (145 500 Km², 19.1 Pg C) (Dargie et al., 2017).

Cette découverte a suscité un intérêt pour la recherche et la conservation en vue de préserver les multiples services écosystémiques qu'ils fournissent. (Sur le plan de la recherche, très peu d'études ont jusque-là été menées pour caractériser et comprendre le modèle de fonctionnement et planifier ainsi une gestion appropriée alors que ces écosystèmes sont exposés à plusieurs menaces dont le changement climatique et le changement d'usage des terres. (Dargie et al., 2017, 2019 ; Crezee et al., 2022 ; Mutonkole et al., 2022 ; Sonwa, 2021). La tourbière d'Inongo, étant l'une des composantes de ce complexe, intéresse dès lors des chercheurs nationaux comme étrangers, du fait de son caractère plus ou moins intact et de l'attention dont elle est bénéficiaire de la part de la société ERA Congo (Ecosystems Restoration Associates-Congo) dans la

comptabilité carbone et sa mise en valeur sur le marché international. À ce stade, il faut signifier que la comptabilité carbone est très avancée pour la végétation de surface et se met à peine en place pour la tourbe.

Cependant, les perturbations survenant des activités anthropiques et, à une moindre mesure, des phénomènes environnementaux accidentels (crues périodiques, brûlures,...) pourraient occasionner des variations spatiales et stratigraphiques des propriétés de la tourbe à l'échelle de cette tourbière (Elia, 2025). Cependant, il est nécessaire de reconnaître que divers éléments liés au site, tels que la configuration du bassin versant, les caractéristiques géomorphologiques, la pédogéologie, le régime hydrologique et la couverture végétale, entre autres, jouent un rôle dans la détermination des propriétés particulières de la tourbe (Draper et al., 2014; Hervé, 2004). Malheureusement, la tourbière d'Inongo manque cruellement des données malgré l'attention lui accordée récemment par des scientifiques de tout bord (Crezee et al., 2022).

La présente étude s'inscrit logiquement dans cette démarche qui vise à assurer une gestion durable des tourbières d'Inongo à travers l'acquisition des données et leur utilisation pour la mise en place des politiques de gestion appropriées.

Nous avons émis l'hypothèse que les paramètres hydrologiques influencent significativement les propriétés physico-chimiques de la tourbe.

L'objectif que poursuit cette étude est d'évaluer l'effet du régime hydrologique et des perturbations anthropiques des tourbières tropicales d'Inongo au sein de la concession ERA Congo. Plus spécifiquement, elle se consacrera à :

1. Déterminer la corrélation entre les différents paramètres étudiés;
2. Evaluer les rôles des paramètres hydrologiques ;
3. Déterminer les effets des traces des feux anthropiques sur la tourbe.

2. Matériel et méthodes

2.1. Description du cadre d'étude

Cette étude s'est déroulée dans la province de Maï-Ndombe, en territoire d'Inongo précisément dans la concession forestière de la société ERA Congo (figure 1). La concession ERA-Congo, autrement appelée Wildlife Works Carbon couvre une superficie de 301,100 hectare, située entre 17° et 18° de longitude Est et 1° et 2° de latitude Sud. Elle est limitée à l'Est par le Lac Maï-Ndombe, à l'Ouest par la rivière

Molimbape, au Nord par la rivière Bolongo-Lule et au Sud par la rivière Lobeke. Elle connaît un climat de transition du type soudanien Aw4 selon la classification de Köppen qui le situe entre le climat équatorial et le climat tropical. Cependant, le climat équatorial est observé dans la partie Nord-Est de la province : Inongo, Kiri, Oshwe. Cette région ne connaît pas de saison sèche régulière (Bwangoy, 2013).

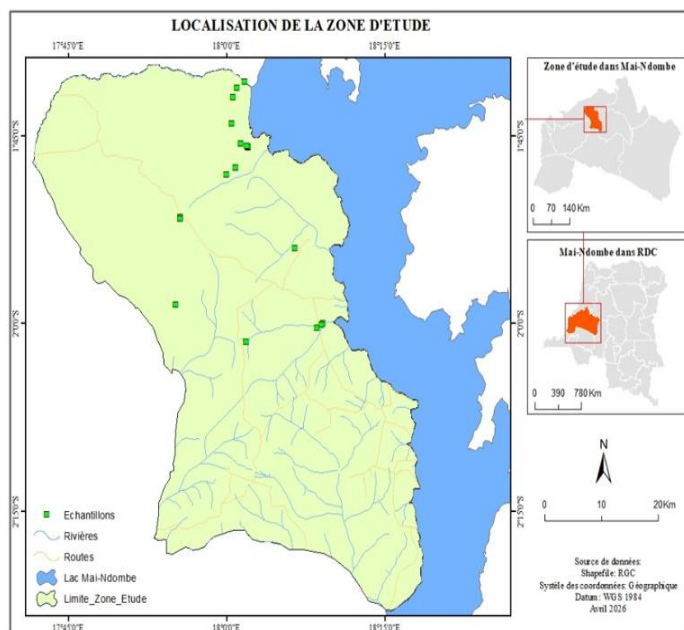


Figure 1. carte des sites d'échantillonnage au sein de la concession ERA Congo dans la province de Mai-Ndombe

2.2. Dispositif expérimental et échantillonnage

Pour cette étude au total, dix-huit sites ont été sélectionnés sur lesquels une parcelle de 20m X 20m par site a été délimitée pour les relevés écologiques et physico-chimiques.

Caractérisation de la tourbe

Les points d'échantillonnage ont été établis sur des sites stratégiques au sein de la concession, préalablement identifiés par télédétection grâce à l'analyse de données radar et topographiques permettant de localiser les zones préférentielles d'accumulation de tourbe ou des zones de probabilité des tourbières (crezee et al., 2022) La localisation a été faite à l'aide d'un GPS de marque GPS Garmin Dakota 20.). Les descentes ont été faite pendant la saison de sèche, nous avons effectué au total trois descentes sur les sites en raison de deux campagnes par descente. La profondeur de la tourbe a été mesurée après prélèvement de la tourbe avec la tarière jusqu'à

l'apparition de la partie ou sol minéral (Quillet et al., 2013). Le niveau de la nappe phréatique a été relevé de manière ponctuelle dans les trous de sondage après le retrait de la tarière, en mesurant la distance verticale entre la surface de l'eau et le niveau du sol à l'aide d'un mètre ruban (cette méthode est également appelée méthode de trous tarières ; Baize et al. (2008). L'élévation topographique a été déterminée avec l'aide d'un GPS. La présence de laisses de crue sur les arbres a été utile pour évaluer l'amplitude des inondations saisonnières. Le pH a été mesuré in situ à l'aide d'un pH mètre de marque polsinelli. La maturité (degré de décomposition) a été estimée sur le terrain selon l'échelle de Von Post (Von Post, 1922).

2.3. Analyses statistiques

1. l'analyse descriptive a été utilisée enfin de faciliter la synthèse et la description quantitative de l'ensemble de données. Elle est utilisée pour établir la tendance centrale (moyenne, médiane) et la dispersion (écart-type, valeurs minimales et maximales), dans le but de présenter une vision globale de la distribution des observations (Dodge, 2007).

2. le coefficient de Corrélation de Pearson (r) Est un indicateur statistique, il a servie d'évaluer l'intensité et le sens du lien linéaire entre les variables quantitatives continues. Son évaluation, va de -1 à +1, pour permettre d'estimer le niveau de dépendance entre deux éléments (Pearson, 1895)

3. L'analyse en composantes principales (ACP) : Est une technique statistique qui minimise la complexité des données multivariées tout en conservant la variance essentielle. Elle a permis de transformer les variables corrélées en quelques composantes principales non corrélées, afin de guider l'interprétation et la visualisation des données et de détecter les structures cachées dans les données. Cette méthode est souvent utilisée pour un ensemble de données afin de synthétiser de grandes quantités de données de variables complexes et d'expliquer comment les variables sont liées (Jolliffe, 2002).

4. Régression Linéaire Simple (LM) : Le modèle de régression linéaire est un outil d'analyse statistique qui permet d'examiner la relation fonctionnelle entre une variable qualifiée de « dépendante » (ou expliquée) et une variable dite « indépendante ». Elle a été utilisée pour représenter des relations par une ligne de tendance et pour vérifier si l'impact d'une variable sur l'autre a une signification statistique (Montgomery et al., 2021).

3. Résultats

Le [tableau I](#) présente les paramètres physico-chimiques mesurés sur 18 points d'échantillonnages des tourbières de la forêt marécageuse du territoire d'Inongo.

Tableau I. les paramètres physico-chimiques des différents sites

Sites	Profondeur (cm)	Elévation (m)	pH	Canopée(m)	Laisse de crue (cm)	Niveau de la nappe (cm)
ET11(1)	155	302	4,5	21	1	-10
ET20 (2)	127	299	4,5	19	2	-11
ET18 (3)	383	328	4,5	13	0,5	0
ET 32 (4)	192	299	3,5	22	1	-5
ET19 (5)	52	314	4,5	23	1	-3
ET 22 (6)	135	314	4	18	1	-10
ET 26 (7)	195	297	4	20	1	15
ET 25 (8)	225	311	3,5	18	0,5	14
ET 23 (9)	234	313	4	21	1	5
ET94 (10)	138	304	4	5	3	7
ET 29 (11)	137	307	4	25	0,5	24
ET 34 (12)	194	297	3,5	10	1	-15
ET 96 (13)	213	298	4	8	1,15	10
ET 21 (14)	190	307	4,5	23	1,5	-19
ET2 (15)	108	303	5	8	2	-4
ET 45 (16)	30	316	4	20	0,5	-12
ET 37 (17)	203	297	3,5	23	1	-8
ET 54 (18)	93	313	3,5	20	0,5	15
Moyenne	166,89	306,61	4,06	17,61	1,13	-0,39
Ecart type	78,98	8,62	0,45	6,07	0,67	12,7

Il ressort de ce tableau ce qui suit: la profondeur de la tourbière varie de 30 à 383 cm avec une moyenne de $166,89 \pm 78,98$ cm; l'élévation oscille entre 297 et 328 cm pour une moyenne de $306,61 \pm 8,62$ cm; le pH est peu acide à très acide c'est-à-dire qu'il varie de 3,5 à 5 pour une moyenne de $4,06 \pm 0,45$; la canopée quant à elle varie de 5 à 25m avec une moyenne de $17 \pm 6,07$ m; la laisse de crue va de 0,5 à 2m avec une moyenne de $1,13 \pm 0,67$ m; enfin, le niveau de la nappe phréatique a varié de -19 à 24 cm avec une moyenne de $-0,39 \pm 12,7$ cm tout en considérant le niveau du sol comme référence (0cm) ainsi les valeurs négatives indiquent une nappe située sous la surface du sol. et les valeurs positives indiquent une nappe affleurant ou dépassant la surface du sol.

3.1. Matrice des coefficients de corrélation Pearson entre les paramètres

Cette matrice de corrélation de Pearson permet d'identifier les interactions entre les différents paramètres étudiés, de quantifier la force des relations linéaires entre les variables, servant de base statistique à l'interprétation des analyses multi variées (ACP) réalisées plus loin.

Tableau II. corrélation de Pearson entre différents paramètres

	Profondeur	Laisse de crue	Niveau de la nappe	Elévation	Canopée	pH
Profondeur	1					
Laisse de crue	-0,17	1				
Niveau de la nappe	0,11	-0,23	1			
Elévation	0,14	-0,43	0,08	1		
Canopée	-0,17	-0,58	-0,02	0,11	1	
Ph	-0,1	0,38	-0,27	0,2	-0,14	1

Le [tableau II](#) présente les coefficients de corrélation de Pearson entre les paramètres environnementaux. Une seule relation est statistiquement significative au niveau de 5 % : la relation négative entre la canopée et la laisse de crue ($r = -0,58$; $p = 0,022$). Cette corrélation modérée indique que plus la laisse de crue est élevée plus la canopée est ouverte. Les autres corrélations testées ne sont pas statistiquement significatives ($p > 0,05$). Parmi elles, on note une tendance négative modérée entre l'élévation et la laisse de crue ($r = -0,43$; $p = 0,098$).

3.2. Cercle de corrélation entre différentes variables

Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée enfin d'explorer la relation entre différentes variables environnementales de manière multidimensionnelle et structurer la variance dans les données.

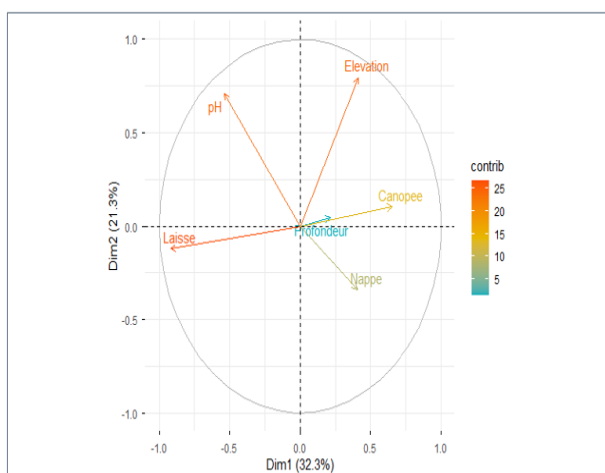


Figure 2. Cercle de corrélation entre variables

Les corrélations entre les variables environnementales ([figure 2](#)) révèlent que les deux premiers axes principaux expliquent 53,6 % de la variance totale (32,3 % pour l'axe 1 et 21,3 % pour l'axe 2). Le premier axe est principalement associé à une opposition entre la variable laisse de crue (dans les valeurs négatives) et la Canopée (dans les valeurs positives). Ces deux variables ont les contributions les plus significatives à la formation de cet axe. Le deuxième axe est fortement associé à l'élévation (contribution maximale, en orange vif) dans sa partie positive, qui s'oppose au niveau de la nappe phréatique dans les valeurs négatives. L'inverse le pH et la laisse de crue ne semblent pas corrélés. L'élévation et la nappe phréatique, cependant, ont une corrélation négative, comme le montre l'angle obtus entre leurs vecteurs. La variable profondeur de la tourbe est située

près de l'origine des axes avec une flèche courte (couleur bleue) et n'est pas un facteur important pour expliquer la variance due à ce plan factoriel.

3.3. Analyse multiparamétrique des sites

Afin de caractériser et de regrouper les sites d'étude en fonction de leurs similarités environnementales, une analyse multiparamétrique a été réalisée. La [figure 3](#) présente la projection des sites et des variables dans le plan factoriel, permettant de voir la variabilité des différents paramètres selon les sites, la structuration spatiale des tourbières d'Inongo selon leurs propriétés physico-chimiques.

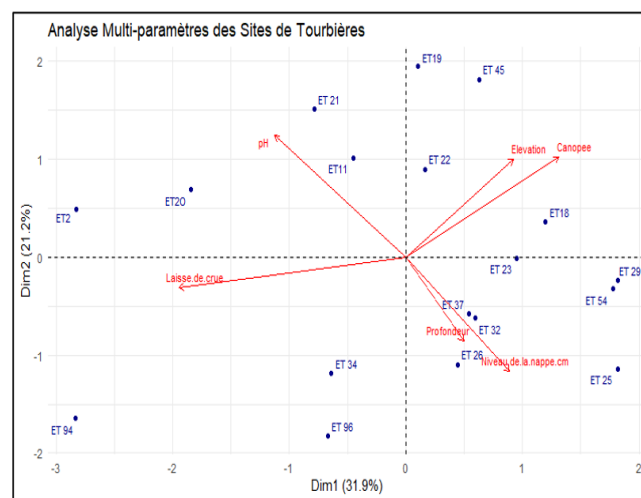


Figure 3. Analyse multiparamétrique des sites

Il ressort de la [figure 3](#) que :

Les sites ET2, ET94 et ET20 se détachent nettement sur la partie gauche du graphique (valeurs négatives de Dim1). Ils s'individualisent par leur forte exposition aux dynamiques de crues, ce qui les distingue radicalement du reste de l'échantillon. Un groupe dense composé des sites ET29, ET54, ET25 et ET18 se projette à l'extrême droite. Ces sites présentent une forte cohésion spatiale sur le graphique, indiquant des conditions environnementales similaires marquées par une élévation plus haute et un couvert forestier stable. Les sites ET21, ET19 et ET45 se positionnent de manière isolée dans le quadrant supérieur. Leur éloignement de l'axe central témoigne de caractéristiques de pH peu acide les différenciant des sites situés en bas de l'axe 2 (comme ET96 et ET34) qui évoluent dans des milieux plus acides. Les sites ET26, ET32 et ET37 forment un cluster spécifique dans le quadrant inférieur droit. Leur positionnement montre qu'ils partagent les profondeurs de tourbe les plus importantes de la zone d'étude, souvent associées à des

nappes phréatiques plus profondes. Des sites comme ET11 et ET22 occupent une position centrale, suggérant des caractéristiques intermédiaires ou une situation d'écotone entre les milieux purement forestiers et les zones d'influence fluviale.

3.4. Analyse de la maturité organique en fonction du profil stratigraphique

La figure 4 illustre la distribution de la maturité des fibres le long du profil tourbeux. Cette visualisation permet d'observer comment le stade de décomposition évolue le long de la colonne de tourbe échantillonnée.

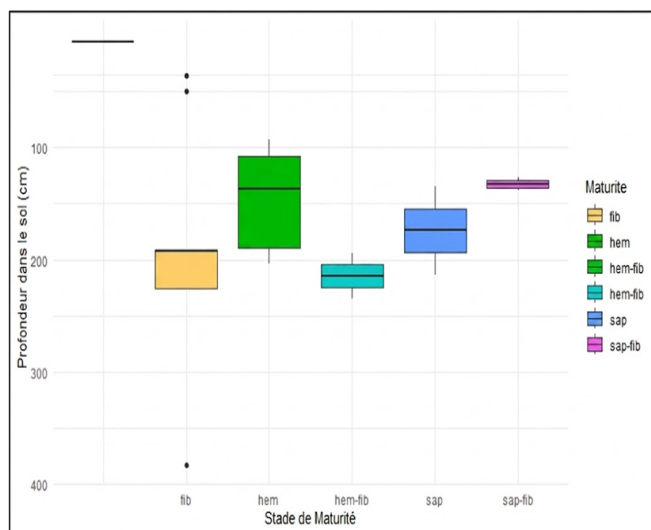


Figure 4. Variation du stade de maturité de la tourbe en fonction de la profondeur du sol

Légende détaillée :

Fib : fibrique (tourbe fibreuse, décomposition faible)

Hem : hémique (tourbe intermédiaire, décomposition moyenne)

Sap : saprique (tourbe non fibreuse, décomposition élevée)

Sap-fib : transition entre saprique et fibrique

Hem-fibrique : transition entre hémique et fibrique.

L'analyse de la distribution verticale des stades de maturité montre que le stade hémique (hem) et le stade saprique-fibrique (sap-fib) occupent les horizons les plus superficiels, avec des profondeurs médianes respectives d'environ 130 cm, bien que le groupe sap-fib affiche une variabilité nettement plus réduite. À des profondeurs intermédiaires, le stade saprique (sap) présente une médiane proche de 170 cm, suivi du stade hémique-fibrique (hem-fib) qui est souvent observé autour de 210 cm. Enfin, le stade fibrique (fib) se positionne également à une profondeur médiane

d'environ 200 cm, mais se distingue par une dispersion majeure.

3.5. Impact des traces de brûlures sur les différentes variables

Le biplot sur la figure 5 issu de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) présente la distribution des échantillons de tourbe en fonction des paramètres physiques mesurés, tout en intégrant la variable relative aux traces de brûlures (présence vs absence), afin d'évaluer leur influence potentielle sur ces paramètres.

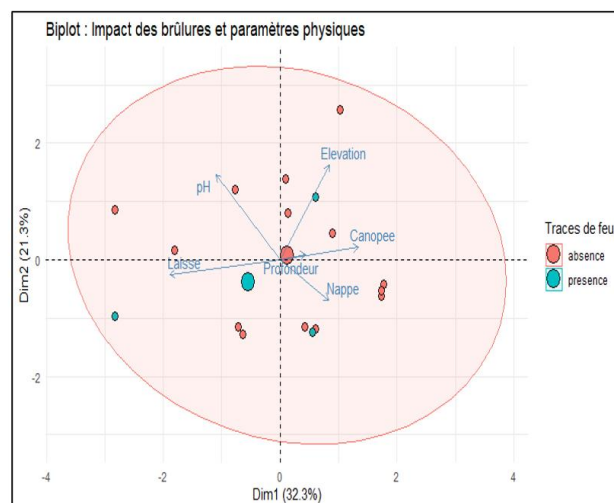


Figure 5. biplot de l'effet des traces des brûlures sur la tourbe

Les résultats de l'ACP indiquent que la première dimension (32,3 % de la variance) est principalement structurée par les paramètres physiques de la tourbe (élévation, canopée, nappe phréatique, pH et laisse de crue), tandis que la seconde dimension (21,3 %) capte une part complémentaire de cette variabilité. La distribution des données selon la présence ou l'absence de traces de brûlures montre un chevauchement important dans le plan factoriel, sans séparation nette entre les deux groupes, suggérant que les traces de brûlures n'induisent pas de structuration distincte des paramètres physiques mesurés.

3.6. Influence du niveau de la nappe phréatique sur le pH de la nappe

Dans l'optique d'évaluer l'influence du régime hydrologique sur les caractéristiques de la tourbe, l'examen de la relation entre le niveau de la nappe phréatique et le pH. Cette analyse est fondamentale pour comprendre comment la saturation en eau régule les conditions d'oxydoréduction et, par extension, la stabilité chimique de la matière organique. La figure 6 présente la droite de régression illustrant la réponse du pH aux fluctuations du niveau de la nappe.

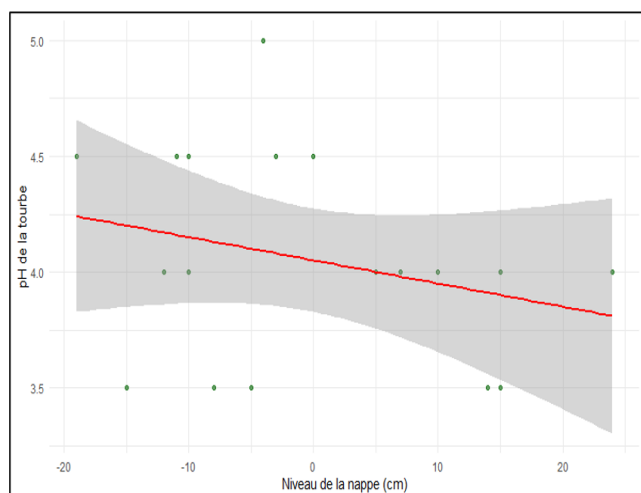


Figure 6. Régression linéaire entre pH et niveau de la nappe phréatique

La figure 6 montre un coefficient de corrélation (r) d'environ 0,074 ce qui indique une faible relation linéaire entre le niveau de la nappe phréatique et le pH. La valeur p-value de la relation est de 0,2734, ce qui est supérieur à la valeur habituelle de 0,05, donc cette relation n'est pas statistiquement significative. En d'autres termes, les données ne nous permettent pas de conclure à un effet linéaire significatif du niveau de la nappe phréatique sur le pH dans le contexte étudié.

3.7. Relation entre l'ouverture de la canopée (%) et la hauteur de la laisse de crue (m)

Afin de comprendre l'influence de la dynamique hydrologique sur la structure forestière des sites étudiés, nous avons analysé la corrélation entre l'intensité des inondations, matérialisée par la hauteur des laisses de crue et le degré d'ouverture du couvert forestier (la canopée). Cette approche permet d'évaluer si les contraintes hydrauliques imposées par les crues du bassin du Congo induisent une modification de l'architecture de la canopée, paramètre essentiel qui régule par la suite le microclimat et les conditions biogéochimiques au sol de la tourbière. Les résultats de cette régression linéaire sont présentés ci-dessous :

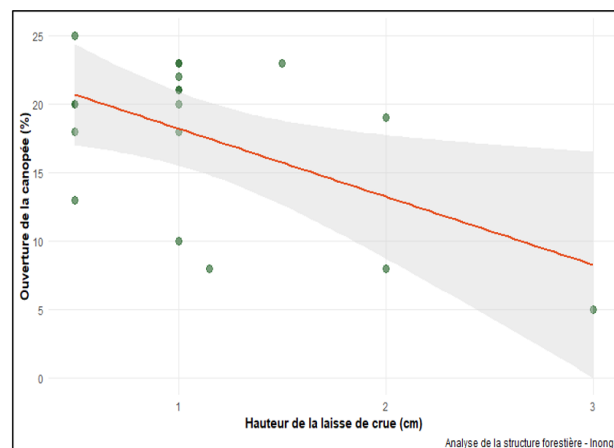


Figure 7. Régression linéaire entre la canopée et la laisse de crue

La figure 7 montre une corrélation négative et statistiquement significative ($r=0,5361$; $p=0,0218$) entre la laisse de crue et la canopée, ce qui indique que quand la laisse de crue est élevée la canopée baisse en d'autre terme des fortes inondations conduit à des canopées ouvert et inversement. Le coefficient de détermination $R^2 = 0,2874$ montre que la canopée explique 28,74 % de la variance avec la laisse de crue. La valeur p de 0,0218 est inférieure à 0,05, donc cette corrélation est significative au niveau de 5 %.

4. Discussion

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude éclairent quelques aspects des structures hydrologiques et écologiques des tourbières d'Inongo, en République Démocratique du Congo, ainsi que sur les perturbations humaines. Tout d'abord, le pH des tourbières présenté dans le tableau 1 et révèle un environnement très acide avec des valeurs allant de 3 à 5. Cette structure acide est typique des tourbières ombrotrophes et correspond à la situation décrite par Dargie et al. (2017). Cette acidité est un facteur important dans les processus biochimiques et la composition végétale de ces zones humides. La hauteur moyenne des crues saisonnières est d'environ 1,3 mètre dans les tourbières étudiées dans la région d'Inongo ce qui est proche de celle rapportée par Crezy et al. (2022) qui ont évalué les inondations saisonnières à 1,5 m dans le bassin central du Congo et ont suggéré que les crues saisonnières sont principalement causées par les apports d'eau dus aux inondations des rivières adjacentes et au ruissellement des terres en amont, confirmant ainsi la dynamique hydrologique complexe de ces écosystèmes. Le niveau de la nappe phréatique se situe entre 24 cm et -19 cm avec une moyenne de -

0,39 cm $\pm$ 12,7 très proche de la surface ; ces valeurs diffèrent de celles rapportées par Mutionkole et al. (2023) pour les tourbières de la région de Lushala et Buhandanda qui ont enregistré des valeurs plus basses (-26.5 $\pm$ 1.5 cm et -35.3 $\pm$ 1.29 cm) ; ces valeurs plus basses ont été attribuées par ces auteurs à une perte probable de la végétation d'origine, à la présence de concrétions argileuses dans la tourbe, et aux pluies fréquentes pendant la période de mesure qui joueraient un rôle majeur dans le changement du niveau d'eau. L'impact du régime hydrologique sur la végétation des tourbières est mis en évidence dans les résultats présentés dans la figure 7 qui montre que la fréquence des inondations (ou inondations répétées) conduit à une ouverture plus prononcée du couvert végétal caractéristique des canopées ouverts des tourbières tropicales. Ce résultat est en accord avec les travaux de Page et al. (1999) ; Philips et al. (1997) ; Anderson (1983).

De plus, la figure 4 montre que la profondeur du sol n'est pas linéaire par rapport au stade de maturité de la tourbe, la présence de stades intermédiaires de décomposition (sap, hém-fib) à une profondeur moyenne montre que la décomposition organique ne suit pas une progression linéaire avec la profondeur mais est influencée par la variation hydrologique et une phase de dessèchement temporaire qui peut induire la décomposition finale. Cela soutient les conclusions de Dargie et al. (2017) sur la décomposition dans les tourbières du bassin du Congo avec l'apparition de « l'intervalle fantôme ». En ce qui concerne les perturbations humaines, notamment les brûlis, l'analyse statistique de la figure 5 montre que les perturbations humaines n'ont pas d'effet significatif et direct sur la composition et la structure de la tourbe. Cela est probablement dû à la résistance au feu des tourbières non drainées comme le montrent Turesky et al. (2015). Il est également possible que le faible nombre de brûlis dans les sites étudiés ne soit pas aussi significatif que leur apparence le suggère. Ainsi, les écosystèmes des perturbations humaines semblent rester relativement stables.

5. Conclusion

Les tourbières tropicales d'Inongo, dans la concession forestière d'ERA Congo (province de Maï-Ndombe), sont de nature typiquement ombrotrophe et possèdent une tourbe profonde (atteignant 383 cm, en moyenne 166,89 cm) et un environnement très acide (pH moyen de 4,06). L'analyse statistique suggère que le régime hydrologique est un facteur clé de la

dynamique de cet habitat. Bien que les fluctuations de la nappe phréatique (à court terme) ne soient pas strictement proportionnelles au pH ou à la profondeur, les inondations jouent un rôle important dans la structure de la végétation ($p = 0,0218$). La distribution verticale non linéaire des stades de maturité de la tourbe est certainement due à l'influence de l'historique du régime hydrologique et au dessèchement de la tourbe ainsi qu'à la décomposition subséquente de la matière organique. En présence de forces anthropiques, la combustion ne modifie pas les propriétés physiques de la tourbe et donc les conditions sont très robustes pour l'environnement de ces habitats tant qu'ils ne subissent aucun drainage. La tourbière d'Inongo est un puits de carbone stable et, par conséquent, ne peut survivre que si elle reste dans son état hydrologique naturel, ce qui est essentiel pour prévenir la dégradation de la tourbe et l'énorme libération de gaz à effet de serre.

Suggestions futures

Une surveillance hydrologique à long terme pour mieux comprendre les dynamiques saisonnières et interannuelles. Étudier plus en profondeur les effets des perturbations humaines, notamment le drainage et les incendies. Ajouter des études complémentaires sur la biodiversité et la qualité du carbone stocké. Développer des outils de modélisation pour prédire les réponses des tourbières au changement climatique. Renforcer la collaboration entre chercheurs, gestionnaires et communautés locales pour une gestion durable. 15 et 32 nm (Dawadi et al., 2021 ; Kumar et al., 2022).

Les AgNPs obtenues ont présenté une activité photocatalytique élevée, avec une dégradation d'environ 94 % du bleu de méthylène, ainsi qu'une activité antibactérienne contre *Escherichia coli* et *Pseudomonas aeruginosa*, confirmant leur potentiel pour les applications environnementales et antimicrobiennes (Verma et al., 2022 ; Menichetti et al., 2023).

Toutefois, l'absence d'analyses granulométriques détaillées, de caractérisation XPS complète, d'études cinétiques de la photocatalyse et de détermination de la CMI et de la CMB constitue une limite de cette étude (Kaabipour & Hemmati, 2021 ; Hussain et al., 2021). Des études complémentaires portant sur l'optimisation des conditions de synthèse, l'évaluation d'autres polluants, l'approfondissement des paramètres microbiologiques ainsi que l'étude de la toxicité et de la biocompatibilité permettront de mieux valoriser ces nanomatériaux pour des applications environnementales et biomédicales (Xu et al., 2020 ; Keller et al., 2022).

Remerciements

Les auteurs remercient sincèrement la société Era Congo pour son soutien financier, qui a contribué à la réalisation du travail de terrain, à l'acquisition des équipements nécessaires et à l'analyse des données. Ils expriment également leur gratitude à toutes les personnes ayant contribué, directement ou indirectement, à la réalisation de cette étude.

Financement

Cette recherche a bénéficié du soutien financier de la société Era Congo, qui a permis de couvrir les déplacements vers le site d'étude, l'acquisition du matériel de terrain, la collecte des données in situ ainsi que leur analyse. Les auteurs expriment leur gratitude à Era Congo pour ce soutien financier ayant contribué à la réalisation de cette étude.

Conflit d'intérêts

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

Considérations éthiques

Cette étude a été conduite dans le respect des normes éthiques applicables à la recherche scientifique. Les travaux de terrain ont été réalisés après obtention des autorisations préalables des autorités compétentes et de la société Era Congo, gestionnaire du site d'étude. Aucune donnée personnelle ou sensible n'a été collectée. Les opérations de prélèvement ont été effectuées en veillant à minimiser toute perturbation de l'intégrité écologique du site.

Contribution des Auteurs

B.I. a contribué à la conception de l'étude, aux analyses statistiques et à la rédaction finale du manuscrit.

P.S.M. a contribué à l'évaluation et à la correction du manuscrit.

G.B.I. a contribué à l'évaluation et à la correction du manuscrit.

D.K.N. a contribué à l'identification des sites et à la collecte des données.

G.K.E. a contribué à la collecte des données.

N.B.N. a contribué aux analyses cartographiques.

R.B.I. a contribué à la collecte des données sur le terrain.

Y.S.M. a contribué à la collecte des données sur le terrain.

J.-R.B.B. a contribué à la cartographie du site et à la planification des travaux de terrain.

J.K.L. a contribué à la conception de l'étude et à la correction du manuscrit.

I.B. : a contribué à l'orientation scientifique et méthodologique de l'étude.

ORCID des Auteurs

Ikio B. : <https://orcid.org/0009-0001-6763-5882>;

Ilumbe G.B. : <https://orcid.org/0009-0004-9866-0943>;

Mutonkole P.S. : <https://orcid.org/0009-0005-0195-1670>;

Ndonda D.K. : N/A

Etepe G.K. : <https://orcid.org/0009-0007-3907-9536>;

Massebe Y.S. : N/A

Iyolo R.B. : N/A

Nkumunue N.B. : <https://orcid.org/0009-0009-7902-0373>;

Bwangoy J.-R.B. : N/A

Basuki I. : <https://orcid.org/0000-0003-0638-7624>;

Lumande J.K. : <https://orcid.org/0009-0000-3800-2894>.

Références bibliographiques

- Anderson, J. A. R. (1983). The tropical peat swamps of western Malesia. In: Gore, A. J. P. (ed.) *Ecosystems of the world 4B. Mires: swamp, bog, fen and moor. Regional studies*. Elsevier, Amsterdam, pp. 181-199. Corpus ID: 133213366
- Baize, D., & Girard, M. C. (2008) : *Référentiel pédologique 2008*. Editions Quae, 405 p., 2009, Savoir Faire (Quae), 978-2-7592-0185-3. {hal-02824892}
- Bwangoy. (2013). Above ground biomass estimate in a tropical moist forest: A comparison between swamp and nonswamp forests in the Lake Mai-Ndombe area of the Democratic Republic of the Congo [Doctoral dissertation, South Dakota State University (USA)]. https://www.researchgate.net/publication/257673855_Identifying_nascent_wetland_forest_conversion_in_the_Democratic_Republic_of_the_Cong_o
- Comont, L. (2006). Étude des processus de stockage de la matière organique et de régénération des tourbières dégradées après exploitation: sites du Russey (Jura français), de la Chaux d'Abel (Jura suisse et de Baupre (Cotentin, France). Ph.D. thesis, Université d'Orléans, 227p.

- Crezee, B., Dargie, G. C., Ewango, C. E. N., Mitchard, E. T. A., Emba, O., Kanyama, J. T., Bola, P., Ndjango, J.-B., Girkin, N. T., Bocko, Y. E., Ifo, S. A., Hubau, W., Seidensticker, D., Batumike, R., Imani, G., Cuní-Sanchez, A., Kiahtipes, C. A., Lebamba, J., Wotzka, H., Bean, H., Baker, T. R., Baird, A. J., Boom, A., Morris, P. J., Page, S. E., Lawson, I. T., & Lewis, S. L. (2022). Mapping peat thickness and carbon stocks of the central Congo Basin using field data. *Nature Geoscience*, 15, 639–644. <https://doi.org/10.1038/s41561-022-00966-7>
- Clymo (R. S.), 1991. – « Peat growth », dans L. C. K. Shane and E. J. Cushing (éd.), *Quaternary landscapes*, Londres, Belhaven Press, p. 76-112.
- Dargie G.C., I.T. Lawson, T.J. Rayden, L. Miles, E.T.A. Mitchard, S.E. Page, Y.E. Bocko, S.A. Ifo & S.L. Lewis (2019). Congo Basin peatlands: threats and conservation priorities. *Mitigation and Adaptation Strategies* <https://doi.org/10.1007/s11027-017-9774-8>.
- Dargie, G. C., Lewis, S. L., Lawson, I. T., Mitchard, E. T. A., Page, S. E., Bocko, Y. E., & Ifo, S. A. (2017). Age, extent and carbon storage of the central Congo Basin peatland complex. *Nature*, 542(7639), 86–90. <https://doi.org/10.1038/nature21048>
- Dodge, Y. (2007). *Premiers pas en statistique*. Springer Science & Business Media.
- Draper fc, Roucoux kh, Lawson it, Mitchard eta, Honorio coronado en, Lähteenoja o, Torres montenegro l, Valderrama e, Zaräte r, Baker tr (2014) Distribution et stock de carbone des tourbières de l'Amazonie occidentale. *Env Res Lett* 9:124017
- Élia Auer, (2025) menaces anthropiques sur les tourbières : étude de cas au centre-du-québec ; menaces anthropiques sur les tourbières : étude de cas au centre-du-québec ; université du québec à montréal. <https://archipel.uqam.ca/secure/id/eprint/18649>
- Girkin N.T., R.A. Lopes dos Santos, C.H. Vane, N. Ostle, B.L. Turner & S. Sjögersten (2020). Peat Properties, Dominant Vegetation Type and Microbial Community Structure in a Tropical Peatland. *Wetlands, Peatland*. <https://doi.org/10.1007/s13157-020-01287-4>.
- Gorham, E. (1991) Tourbières boréales : rôle dans le cycle du carbone et réponses probables au réchauffement climatique. *Ecological Applications*, 1, 182-195. <http://dx.doi.org/10.2307/1941811>
- Hervé Cubizolle, Céline Sacca, Arnaud Tourman, Jérôme Porteret et Gilles Thébaud, 2004 « Les tourbières du haut bassin versant de la Loire (Massif central oriental) », *Norôis* [En ligne], 192 | 2004/3, mis en ligne le 26 août 2008, URL : <http://journals.openedition.org/norôis/943> ; DOI : 10.4000/norôis.943
- Jolliffe, IT (2002). *Analyse en composantes principales* (2e éd.). New York : Springer-Verlag. [http://cda.psych.uiuc.edu/statistical_learning_course/Jolliffe%20I.%20Principal%20Component%20Analysis%20\(2ed.,%20Springer,%202002\)\(518s\)_MVsa_.pdf](http://cda.psych.uiuc.edu/statistical_learning_course/Jolliffe%20I.%20Principal%20Component%20Analysis%20(2ed.,%20Springer,%202002)(518s)_MVsa_.pdf)
- Lagoune, A., & Muller, S. D. (2008). Les tourbières de la plaine de Guerbès (Algérie) : un patrimoine naturel exceptionnel entre terre et eau. *Revue d'Écologie (La Terre et la Vie)*, 63(1-2), 101-110.
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons. 5th ed. p. cm. – (Wiley series in probability and statistics ; 821) Includes bibliographical references and index. ISBN 978-0-470-54281-1 (hardback) DOI : 10.1111/insr.12020_10
- Mutonkole , P. S., Tangou, T. T., & Kanda, V. N. (2022). Estimation of dissolved organic carbon in river flows and identification of the relationships between peat humic fractions and physicochemical qualities. *Open Journal of Environmental Research* (ISSN: 2734-2085), 3(2), 1-24. <https://doi.org/10.52417/ojer.v3i2.404>
- National Wetlands Working Group. (1997). *Le système canadien de classification des milieux humides*, 2e édition édition (Warner, BG et CDA Rubec (éd.)). Waterloo, Ontario, Canada : Zones humides Centre de recherche, Université de Waterloo.
- Pakarinen, P. (1995). Classification des tourbières boréales en Finlande et en Scandinavie : une revue. *Végétation*, 118(1), 29–38. <https://doi.org/10.1007/BF00045188>
- Page SE, Rieley JO, Shotyk W, Weiss D (1999) Interdépendance de la tourbe et de la végétation dans une forêt marécageuse tropicale à tourbe. *Philos Trans R Soc Ser B* 354 : 1885–1897. DOI : 10.1098/rstb.1999.0529
- Pearson, K. (1895). VII. Note on regression and inheritance in the case of two parents.

- Proceedings of the Royal Society of London, 58(347-352), 240-242
- Phillips S, Rouse GE, Bustin M (1997) Zones de végétation et profils polliniques diagnostiques d'une tourbière côtière, Bocas del Toro, Panama. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol* 128 : 301–338.
- DOI : 10.1016/S0031-0182(97)81129-7
- Pnue. (2022). Évaluation mondiale des tourbières – L'état des tourbières dans le monde : Données probantes pour la conservation, la restauration et la gestion durable des tourbières. Résumé à l'intention des décideurs politiques. Initiative Mondiale pour les Tourbières, Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Nairobi. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/41222>
- Quillet A., M. Garneau & S. Frolking (2013b). Sobol' sensitivity analysis of the Holocene Peat Model: What drives carbon accumulation in peatlands? *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, VOL. 118: 203–214, doi:10.1029/2012JG002092.
- Raunkiaer, C. (1934). *The life forms of plants and statistical plant geography*. Oxford University Press.
- Sonwa D.J., S.I. Averti, C. Ewango, E.T.A. Mitchard, G.C. Dargie, I.T. Lawson, S. Gourlet Fleury, C. Doumenge, V. Gond, J. Betbeder, A.K. Toham, J. Van Offelen, D. Kopansky, R. D'Annunzio, R. Monsembula, M. Nuutinen, L. Villegas, K. Milliken, N. Philippon, S. Bigot, O.E. Freeman, J.J. Bambuta, Q. Jungers & R.R. Cue (2017). Les tourbières de la cuvette centrale du bassin du Congo : réalités et perspectives in *Les Forêts du Bassin du Congo*, Chapitre 9, pp 256-281.
- Turetsky, M. R., et al. (2015). Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. *Nature Geoscience*, 8(1), 11-14.
- Von Post, L. (1922). *Sveriges Geologiska Undersöknings torvinventering och några av dess hittills vunna resultat*. (Référence classique pour l'échelle de décomposition).
- Yu Z., J. Loisel, D.P. Brosseau, D.W. Beilman & S.J. Hunt (2010). Global peatland dynamics since the last Glacial Maximum. *Geophysical Research Letters* 37, LI3402, doi:10.1029/2010GL043584.nanoparticles. *Thermochimica Acta*, 707, 179188. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2021.179188>