

Influence des facteurs biotopiques sur les stocks de carbone des marécages à herbacées de la ville de Yaoundé (Cameroun) et ses environs

Léon Dieudonné KONO^{1*}, Damien Marie ESSONO², Marien Ecclésiaste AMBOMBO¹,
Marie Alain MBARGA BINDZI¹ et Elvire Hortense BIYE¹

¹ Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Laboratoire de Botanique-Ecologie, BP 812, Yaoundé, Cameroun

² Université de Yaoundé I, Faculté des Sciences, Laboratoire de Microbiologie, BP 812, Yaoundé, Cameroun

* Correspondance, courriel : l.kono@yahoo.fr

Résumé

Dans la perspective de promouvoir la gestion durable des zones humides de la ville de Yaoundé (Cameroun) et ses environs, le présent travail étudie l'influence des facteurs biotopiques sur les stocks de carbone des marécages à herbacées. Les organes aérien et souterrain des individus ont été récoltés au niveau de chaque type de marécage dans 10 placettes de 10 m x 10 m selon la méthode destructive classique de référence. Une analyse des données collectées sur le terrain a été effectuée autour des tests de corrélation et de l'analyse en composantes principales. Les résultats obtenus montrent que le marécage à *Cyperus papyrus* stocke plus de carbone comparativement aux marécages à *Cystosperma senegalense*, *Echinochloa pyramidalis* et à *Rhynchospora corymbosa*. Les variables telles la texture argileuse, le drainage, la profondeur du sol, le recouvrement par la végétation et la situation sur la pente sont les facteurs biotopiques qui influencent de façon significative ce stock de carbone. Ainsi, leur meilleure connaissance permet l'adoption des stratégies idoines de conservation et gestion durable de ces milieux actuellement soumis à une anthropisation.

Mots-clés : *composition floristique, marécages, stock de carbone, Yaoundé.*

Abstract

Influence of bio-topical factors on the carbon stocks of herbaceous swamps in and around Yaounde, Cameroon

In perspective to promote sustainable management of humid zones in Yaounde and its periphery, the present study was carried out to investigate bio-topical factors that could influence the carbon stocks in herbaceous swampy areas. Thus, aerial and underground organs of various plant individuals were collected from ten plots of 10m x10m in each type of swamps based on the destructive classical reference method. Field data has been analysed through tests correlation and analyze the principal components. The results obtained reveal that the swamps dominated by *Cyperus papyrus* stock more carbon compare to those with *Cystosperma senegalense*, *Echinochloa pyramidalis* and *Rhynchospora corymbosa*. Variables such as clay texture drainage system, depth of the soil, vegetation cover and situation on the slope are factors that significantly influence carbon stock. Thus, their better knowledge permits of adoption of strategies for the conservation and sustainable management of these humid areas under intense human activities.

Keywords : *plant composition, marshes, carbon stock, Yaounde.*

1. Introduction

Les marécages répondent à des enjeux non seulement sociaux et économiques mais aussi écologiques [1, 2]. Les services écosystémiques (SE) rendus par ces infrastructures naturelles, constituent des biens publics « non marchands », communs à l'ensemble de l'humanité. Ces SE se regroupent en trois grandes catégories à savoir les services d'approvisionnement en matières premières et ressources alimentaires, les services culturels et les services de régulation [3]. Les SE sont des processus dynamiques dans le temps et dans l'espace, et sont en tant que tels des cibles pour la gestion des écosystèmes. Dans le contexte actuel du changement climatique, en grande partie résultant des émissions anthropiques de gaz à effets de serre [4], la régulation du climat global à travers le stockage de carbone est un SE au cœur des préoccupations internationales. Son importance se situe dans la multiplication des grands programmes internationaux tels que la Convention sur les zones humides de Ramsar [5], la Redd+ (Réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts) [6], la Convention Cadre des Nations unies sur le Changement Climatique [7], etc. Malheureusement les marécages subissent toujours la pression anthropique (urbanisation rapide, installation humaine, insécurité foncière, exploitation de bois, intensification de l'agriculture, etc.) occasionnant des modifications des formations végétales, l'érosion de la biodiversité, la diminution des superficies, l'émission des gaz à effet de serre, etc. [8]. L'une des conséquences majeures est aujourd'hui, la pollution atmosphérique qui est le principal problème environnemental des grands centres urbains du monde [9]. Les études portant sur le stockage du carbone par les zones humides sont d'actualité tant en zone tropicale [10, 11] que dans les régions tempérées [12]. Ces auteurs soulignent que le stockage du carbone est sous la dépendance de divers facteurs clés à la fois biotiques et abiotiques et leurs interactions. L'identification et la connaissance de ces facteurs influençant ces variations sont devenues une préoccupation majeure en écologie pour contribuer à la conservation optimale des marécages dégradés depuis plusieurs décennies [13]. Les travaux récents [14, 15] traitant des stocks de carbone dans les marécages en relation avec les facteurs du milieu font défaut dans la sous région d'Afrique centrale en général et au Cameroun en particulier. C'est dans cette optique que la présente étude a été menée dans les marécages de la ville de Yaoundé et ses environs afin de quantifier leurs stocks de carbone et d'analyser les facteurs biotiques qui les déterminent.

2. Matériel et méthodes

2-1. Milieu d'étude

Le milieu d'étude est situé au sud-ouest de la ville de Yaoundé et ses environs, entre les latitudes 3°42' et 4°05'N, et les longitudes 11°17' et 11°35' E (*Figure 1*). Il est soumis à l'influence d'un climat subéquatorial avec quatre saisons dont deux pluvieuses et deux sèches, avec des précipitations moyennes de 1564,7 mm / an et une température moyenne annuelle de 23,5°C (amplitude thermique de 2,4°C), observées sur une période allant de 1895 à 2005 [16]. Le support pédologique est constitué de sols ferrallitiques et hydromorphes qui occupent les bas-fonds. Ces bas-fonds sont parcourus par un important réseau hydrographique comportant des cours d'eau permanents, les lacs et les étangs. La végétation naturelle du milieu d'étude est une forêt dense humide semi décidue dominée par les *Ulmaceae* et les *Sterculiaceae* [17]. Cette forêt est actuellement fortement dégradée. Deux facteurs directs, l'agriculture et l'habitat sont identifiés ici comme étant les principales sources de dégradation de cette forêt.

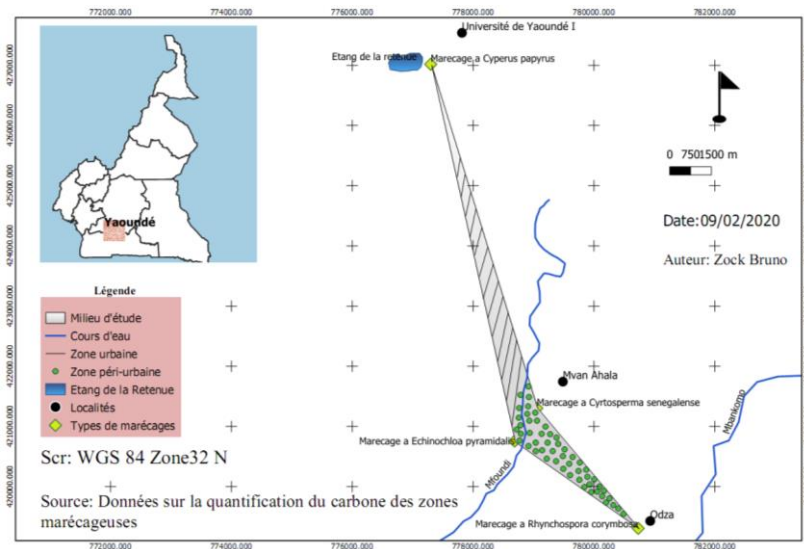


Figure 1 : Localisation du milieu d'étude et répartition spatiale des différents types de marécages dans la zone urbaine et péri-urbaine de Yaoundé

2-2. Typologie des marécages et leur répartition spatiale

Quatre types de marécages à herbacées ont été retenus sur la base de leur composition floristique et de la variabilité écologique du milieu dans la zone urbaine et péri-urbaine de Yaoundé. Le marécage à *Cyperus papyrus* (*Cyperaceae*) se trouve en zone urbaine tandis que les marécages à *Cystosperma senegalense* (*Araceae*), *Echinochloa pyramidalis* (*oaceae*) et à *Rhynchospora corymbosa* (*Cyperaceae*) sont situés en zone péri-urbaine de Yaoundé (**Figure 1**).

2-3. Collecte des données

2-3-1. Dispositif d'échantillonnage

Dans chacun des marécages, la méthode du transect a été utilisée pour la collecte des données floristique et édaphique [18]. Cette méthode a permis une meilleure couverture de l'échantillonnage au sein de la zone d'étude de novembre 2018 à février 2019, période correspondant à la grande saison sèche. Pour chaque type de marécage, deux transects de 500 m et équidistants de 20 m ont été installés dans le sens de la longueur. L'équidistance de 20 m a été retenue afin d'obtenir un bon taux de sondage et un meilleur rapport coût/efficacité de l'exercice. Le choix de l'emplacement des transects s'est fait suivant la plus grande homogénéité des peuplements végétaux étudiés. Le long de chacun des deux transects, cinq placettes de 10 m x 10 m (100 m²) équidistantes de 50 m sont installées dans le but de discriminer les effets-bordure générés par les variations microtopographiques susceptibles d'influencer la biodiversité.

2-3-2. Quantification du carbone aérien et souterrain

La méthode destructive classique de la référence a été utilisée pour la quantification du carbone aérien et souterrain [14]. Les organes aériens et souterrains sont prélevés dans dix placettes au niveau de type de marécage. Les individus sont récoltés dans cinq carrés de récolte de 1 m x 1 m disposés au hasard dans chaque placette de 100 m² afin d'évaluer la biomasse fraîche aérienne et souterraine respectivement. Au total 40 placettes de 100 m² ont été installées dans le milieu d'étude. Ces échantillons d'organes sont ensuite séchés à l'étuve à 65 °C, pendant 72 heures, afin d'obtenir une masse constante représentant la

masse de matière sèche (MS). Les coefficients de 0,435 et 0,430 ont respectivement été utilisés pour la conversion de la MS aérienne et souterraine en carbone [14, 19]. Les stocks de carbone ont été obtenus en utilisant les **Formules** présentées ci-dessous :

$$CA = 0,435 * MSa \quad (1)$$

CA étant le stock de carbone aérien en tC/ha, MSa la masse de matière sèche aérienne en tonne.

$$CS = 0,430 * MSs \quad (2)$$

CS étant le stock de carbone souterrain en tC/ha, MSs la masse de matière sèche souterraine en tonne.

2-3-3. Quantification des stocks de carbone du sol

Les stocks de carbone au sol ont été obtenus à partir de la teneur pondérale en carbone organique des échantillons de sol prélevés à 0-30 cm de profondeur et de la densité apparente sèche à la même profondeur. La teneur pondérale en carbone organique du sol a été faite par voie humide au laboratoire de l'IITA (International Institute of Tropical Agriculture), en faisant agir sur les échantillons de sols un mélange de dichromate de potassium et d'acide sulfurique. Les stocks de carbone du sol dans les différents marécages à herbacées ont été calculés par la **Formule** [14] présentée ci-dessous :

$$C_{sol} = Da * (1 - EG) * TpC * E \quad (3)$$

C_{sol} étant le stock de carbone du sol exprimé en kg/m², Da la densité apparente en kg/m³, EG le pourcentage d'éléments grossiers, TpC la teneur pondérale en carbone organique en g/kg et E l'épaisseur de l'horizon en m.

Le stock de carbone total (TC) de chaque type de marécage est obtenu en additionnant les moyennes des quantités de carbone contenu dans les différents compartiments. La **Formule** ci-après a été appliquée :

$$TC = CA + CS + C_{sol} \quad (4)$$

CA étant le stock de carbone aérien en tC/ha, CS le stock de carbone souterrain en tC/ha et C_{sol} le stock de carbone du sol en tC/ha.

2-3-4. Facteurs biotopiques

Afin d'étudier l'influence des facteurs biotopiques sur les stocks de carbone des différents types de marécages, on a considéré les variables suivantes (**Tableau 1**): la texture du sol, le drainage du sol, la microtopographie, le degré d'anthropisation et de recouvrement par la végétation. Ces variables sont reconnues par plusieurs auteurs comme facteurs influençant les stocks de carbone dans les zones humides tropicales [3, 11]. Le choix des variables est basé aussi sur les observations de terrain. La texture des sols a été déterminée sur des échantillons prélevés dans les 30 premiers cm du sol dans les quatre coins et au centre de chaque placette. Ces différents prélèvements ont été mélangés pour constituer un échantillon composite par placette en vue d'une analyse granulométrique devant conduire à la détermination de la texture du sol de chaque marécage au laboratoire de l'IITA. Le régime hydrique des sols était évalué sur le terrain, en utilisant 7 classes de drainage allant de « excessif » à « très mauvais » (drainage 0, drainage 1, drainage 2, drainage 3, drainage 4, drainage 5, drainage 6) [20]. Les caractéristiques microtopographiques retenues, à savoir la situation sur la pente et la profondeur ont été examinées au sens de [20]. Le degré d'anthropisation des marécages a été déterminé selon la méthode de [21] en attribuant une information quantitative sommaire en cas de perturbation.

Tableau 1 : Variables biotopiques et structurales utilisées

Variables	Modalités
Classes textures	Argileuse ; Argilo-sableuse
Classes de drainage	drainage 0, drainage 1, drainage 2, drainage 3, drainage 4, drainage 5, drainage 6
Degré d'anthropisation	Faible, Moyen, Elevée
Profondeur du sol	Peu profond, Très profond
Situation sur la pente	Terrain plat, Terrain encaissé
Degré de recouvrement (%)	Par espèce

2-4. Analyse des données

2-4-1. Analyses bio-statistiques

Les comparaisons des moyennes (One-way ANOVA) entre les différents stocks de carbone aérien, souterrain et du sol des types de marécages ont été effectuées à l'aide du test de Tukey réalisé avec le logiciel R version 3.0.2.

2-4-2. Croisement entre descripteurs écologiques et de stockage du carbone

Les relations entre les stocks de carbone et les facteurs biotopiques ont été mises en évidence par la détermination des coefficients de corrélation et l'analyse en composantes principales (ACP) au moyen du logiciel R. Cette mise en relation permet d'évaluer la proportion de la variabilité des stocks de carbone pouvant être expliquée par les facteurs biotopiques. Cette mise en relation permet d'évaluer les proportions de stock de carbone pouvant être corrélées à un ou plusieurs facteurs biotopiques.

3. Résultats

3-1. Caractérisation biotopique des marécages

Globalement les facteurs biotopiques varient d'un marécage à l'autre. Ainsi, le marécage à *C. papyrus* présente quelques spécificités biotopiques comparativement aux autres types de marécages, quel que soit le facteur du milieu considéré (**Tableau 2**). Ce marécage faiblement anthropisé se trouve sur un terrain encaissé, à drainage très mauvais et présente aussi un sol à texture argileuse et une profondeur significativement différente de celle des autres marécages. La contribution des espèces au peuplement est plus élevée dans le marécage à *C. papyrus* par rapport aux autres types de marécages.

Tableau 2 : Caractéristiques biotopiques et structurales des marécages sélectionnés. MCS : marécage à *Cyrtosperma senegalense* ; MCP : marécage à *Cyperus papyrus* ; MEP : marécage à *Echinochloa pyramidalis* ; MRC : marécage à *Rhynchospora corymbosa*. + = présent ; - = absent ; les moyennes marquées de deux lettres différentes sur une même ligne sont significativement différentes ($p < 0,001$; $n = 10$) pour le facteur considéré

Facteurs biotopiques	MCS	MCP	MEP	MRC
Superficie (ha)	2	1,5	2	2
Texture				
Argileuse	-	+	-	-
Argilo-sableuse	+	-	+	+
Drainage				
Mauvais	+	-	+	+
Très mauvais	-	+	-	-
Degré d'anthropisation				
Faible	-	+	-	-
Moyen	+	-	-	+
Fort	-	-	+	-
Microtopographie				
Profondeur (m)	0,75 ± 0,48a	1,70 ± 0,4b	0,62 ± 0,15a	0,84 ± 0,20a
Situation sur la pente	Terrain plat	Terrain encaissé	Terrain plat	Terrain plat
Degré de recouvrement (%)				
<i>Cyrtospermasenegalense</i>	75	0	5	15
<i>Cyperus papyrus</i>	0	95	0	0
<i>Echinochloapyramidalis</i>	5	5	75	10
<i>Rhynchosporacorymbosa</i>	20	0	20	75

3-2. Stocks de carbone

3-2-1. Carbone aérien et souterrain

Le **Tableau 3** présente les moyennes des stocks de carbone aérien et souterrain. L'analyse de ce tableau révèle que les stocks de carbone aérien et souterrain varient d'un type de marécage à l'autre. Les stocks de carbone aérien et souterrain les plus élevés sont obtenus dans le marécage à *C. papyrus*. Ces stocks de carbone diminuent de manière significative dans les marécages à *C. senegalense* ; *E. pyramidalis* et *R. corymbosa*.

Tableau 3 : Moyenne des stocks de carbone aérien et souterrain dans les différents types de marécages. Pour une même variable, les moyennes marquées de deux lettres différentes sur une même ligne sont significativement différentes ($p < 0,001$; $n = 10$). MCS : marécage à *C. senegalense* ; MCP : marécage à *C. papyrus* ; MEP : marécage à *E. pyramidalis* ; MRC : marécage à *R. corymbosa*

Stocks de carbone	Types de marécage			
	MCS	MCP	MEP	MRC
CA (t C/ha)	0,85 ± 0,18a	29,54 ± 6,31b	2,50 ± 0,45a	3,50 ± 0,35a
CS (t C/ha)	1,40 ± 0,10a	40,67 ± 14,10b	1,30 ± 0,25a	2,58 ± 0,22a

3-2-2. Stocks de carbone du sol

Les moyennes des stocks de carbone du sol sont présentées dans la **Figure 2**. De l'analyse de celle-ci, il ressort que les stocks de carbone du sol varient significativement d'un type de marécage à l'autre. Elle révèle le rôle primordial que joue la composition floristique dans le stockage du carbone du sol. C'est ainsi que le marécage à *C. papyrus* montre la plus grande valeur avec $340,8 \pm 30,3$ tC/ha, comparativement aux marécages à *E. pyramidalis*, *C. senegalense* et à *R. corymbosa* qui renferment $7,33 \pm 1,59$ tC/ha, $112,7 \pm 8,7$ tC/ha et $135,5 \pm 0,75$ tC/ha respectivement.

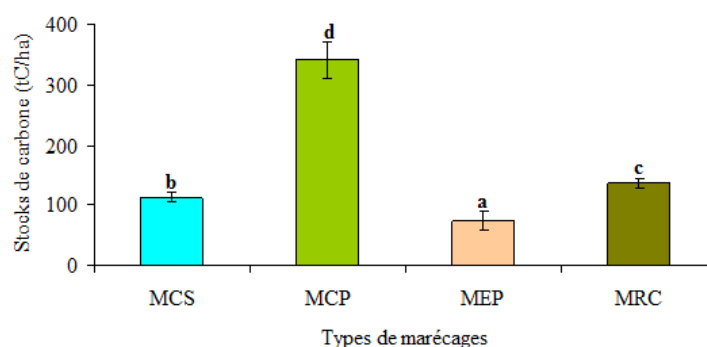


Figure 2 : Moyenne des stocks de carbone du sol (0-30 cm) des différents types de marécages. ($p < 0,001$; $n = 10$). MCS : marécage à *C. senegalense* ; MCP : marécage à *C. papyrus* ; MEP : marécage à *E. pyramidalis* ; MRC : marécage à *R. corymbosa*

3-2-3. Stock total de carbone

Le **Tableau 4** présente les stocks totaux de carbone contenu dans les différents types de marécages. Il ressort qu'avec $411,02 \pm 30,19$ tC/ha, le stock total de carbone est significativement plus élevé dans le marécage à *C. papyrus* comparativement aux autres types de marécages pour lesquels les stocks de carbone varient entre $77,14 \pm 15,68$ à $141,61 \pm 7,48$ tC/ha lorsqu'ils sont anthropisés. La tendance générale du carbone total stocké suit l'ordre : $MCP > MRC > MCS > MEP$. L'examen de la **Figure 3** présentant la répartition des proportions du stock total de carbone dans les différents compartiments des marécages étudiés révèle que le sol renferme globalement la plus importante fraction de carbone (82,91- 98,04 %). Toute fois pour le marécage à *C. papyrus* les proportions non négligeables de carbone des compartiments aériens (7,19 %) et souterrains (9,89 %) s'ajoutent à celle du sol.

Tableau 4 : Stock total de carbone dans les différents types de marécages. Pour une même variable, les moyennes marquées de deux lettres différentes sur une même ligne sont significativement différentes ($p < 0,001$; $n = 10$). MCS : marécage à *C. senegalense* ; MCP : marécage à *C. papyrus* ; MEP : marécage à *E. pyramidalis* ; MRC : marécage à *R. corymbosa* ; TC :

Stock total de carbone	Type de marécage			
	MCS	MCP	MEP	MRC
TC (t C/ha)	$114,99 \pm 8,72b$	$411,02 \pm 30,19d$	$77,14 \pm 15,68a$	$141,61 \pm 7,48c$

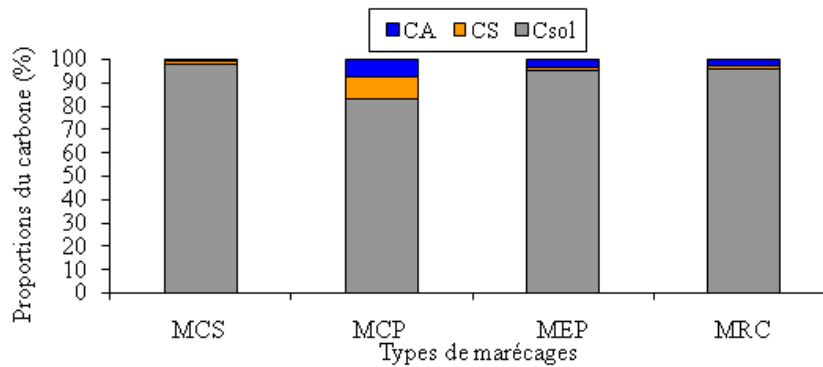
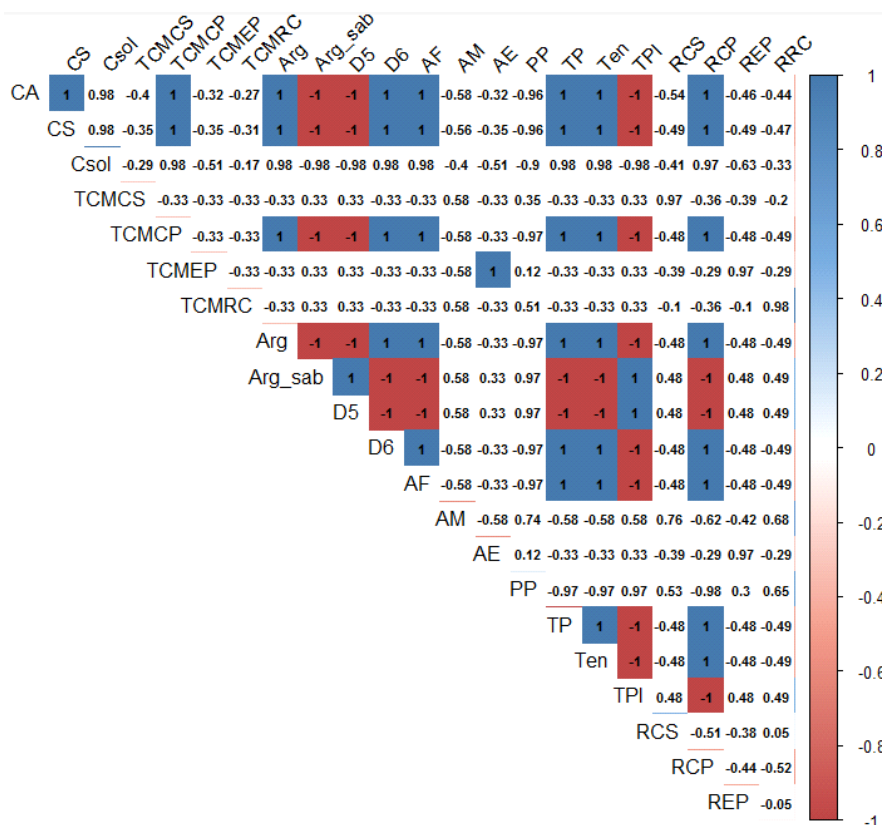


Figure 3 : Répartition du stock total de carbone (en %) dans les différents compartiments de chaque type de marécage. MCS : marécage à *C. senegalense* ; MCP : marécage à *C. papyrus* ; MEP : marécage à *E. pyramidalis* ; MRC : marécage à *R. corymbosa*

3-3. Liens entre facteurs biotopiques et les descripteurs de stockage de carbone

Les coefficients de corrélation provenant des croisements entre les descripteurs de stockage de carbone et les facteurs biotopiques sont contenus dans le **Tableau 5**. Il en ressort que les stocks de carbone aérien et souterrain contribuent positivement et hautement au stock de carbone total du marécage à *C. papyrus*. Ces stocks de carbone aérien et souterrain sont aussi positivement liés à la texture argileuse, au drainage très mauvais, à la situation sur la pente et au recouvrement par la végétation. Le stock de carbone du sol contribue aussi positivement au stock de carbone total du marécage à *C. papyrus*. Il est positivement corrélé à la texture argileuse, au drainage très mauvais, au sol très profond et au recouvrement par la végétation. Par rapport aux autres types de marécages, les facteurs biotopiques ci-dessus sont fortement liés au stock total de carbone du marécage à *C. papyrus*. En revanche, il ressort que les stocks de carbone aérien et souterrain sont négativement corrélés à la texture argilo-sableuse, au drainage mauvais et au terrain plat. L'expression de ces facteurs biotopiques est déterminante dans les marécages à *E. pyramidalis*, *C. senegalense* et à *R. corymbosa* (**Figure 4**). Par ailleurs, les stocks totaux de carbone des marécages à *C. senegalense*, *E. pyramidalis* et *R. corymbosa* paraissent très faiblement corrélés à plusieurs facteurs biotopiques tels que la texture argilo-sableuse, le drainage mauvais et la situation sur la pente. Ce résultat suggère que plusieurs autres facteurs influencent les stocks de carbone dans ces marécages.

Tableau 5 : Matrice des corrélations entre les différents facteurs biotopiques. CA : Carbone aérien ; CS : Carbone souterrain ; Arg : Argile ; Arg_sab : Argilo-sableuse ; D5 : Drainage mauvais ; D6 : Drainage très mauvais ; AF : Anthropisation faible ; AM : Anthropisation moyenne ; AE : Anthropisation élevée ; PP : Peu profond ; TP : Très profond ; Ten : Terrain encaissé ; TPI : Terrain plat ; RCS : recouvrement de *C. senegalense* ; RCP : Recouvrement de *C. papyrus* ; REP : Recouvrement d'*E. pyramidalis* ; RRC : Recouvrement de *R. corymbosa* ; TCMCS : stock total de carbone du marécage à *C. senegalense* ; TCMCP : stock total de carbone du marécage à *C. papyrus* ; TCMEP : stock total de carbone du marécage à *E. pyramidalis* ; TCMRC : stock total de carbone du marécage à *R. corymbosa*



3-4. Discrimination des facteurs biotopiques

L'ACP discrimine les différents types de marécages, opposant le marécage à *C. papyrus* des autres types de marécage (Figure 4). Les axes 1 et 2 présentent une contribution globale de 89,40 %. La signification écologique de ces deux axes est expliquée par les facteurs biotopiques et les observations de terrain. Ainsi, l'axe 1 avec une contribution de 69,90 %, traduit un gradient croissant des facteurs biotopiques : texture argileuse, drainage très mauvais (D6), sol très profond, et recouvrement par la végétation se développant sur un terrain encaissé faiblement anthropisé. Ces facteurs sont les plus explicatifs des stocks élevés, obtenus dans le marécage à *C. papyrus* (Figure 4). Visiblement l'axe 2, avec une contribution de 19,50 % exprime un gradient décroissant du degré d'anthropisation depuis les marécages à *R. corymbosa* et à *C. senegalense* vers le marécage à *E. pyramidalis*. Ces marécages sont caractérisés par les stocks de carbone intermédiaires fortement liés au terrain plat, peu profond à la texture argilo-sableuse et à drainage mauvais (D5). Les faibles stocks de carbone du marécage à *E. pyramidalis* sont surtout imputables à l'anthropisation élevée.

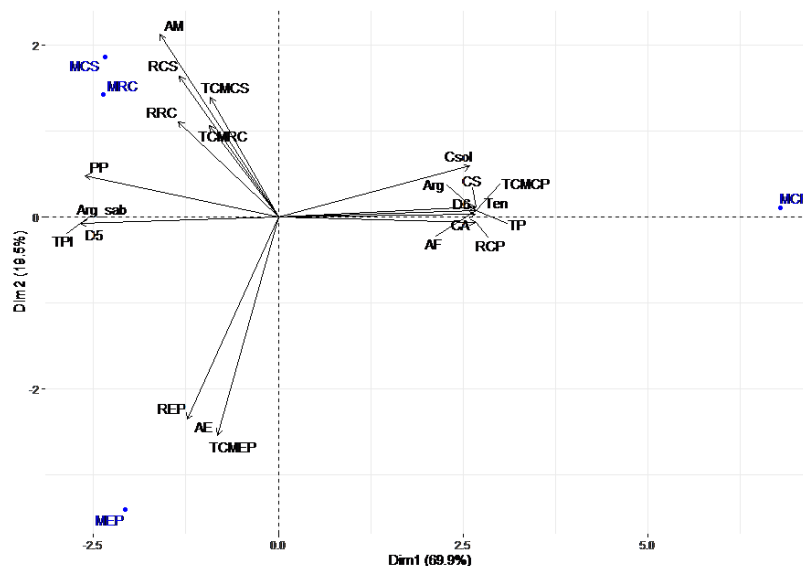


Figure 4 : Diagramme de l'ordination des types de marécages et des facteurs biotopiques dans le plan factoriel des axes 1 et 2 de l'ACP. CA : Carbone aérien ; CS : Carbone souterrain ; Arg : Argile ; Arg_sab : Argilo-sableuse ; D5 : Drainage mauvais ; D6 : Drainage très mauvais ; AF : Anthropisation faible ; AM : Anthropisation moyenne ; AE : Anthropisation élevée ; PP : Peu profond ; TP : Très profond ; Ten : Terrain encaissé ; TP1 : Terrain plat ; RCS : recouvrement de *C. senegalense* ; RCP : Recouvrement de *C. papyrus* ; REP : Recouvrement d'*E. pyramidalis* ; RRC : Recouvrement de *R. corymbosa* ; TCMCS : stock total de carbone du marécage à *C. senegalense* ; TCMCP : stock total de carbone du marécage à *C. papyrus* ; TCMEP : stock total de carbone du marécage à *E. pyramidalis* ; TCMRC : stock total de carbone du marécage à *R. corymbosa*

4. Discussion

4-1. Stocks de carbone aérien et souterrain

La présente étude indique que les stocks de carbone aérien et souterrain sont significativement plus élevés dans le marécage à *C. papyrus*. Ces stocks de carbone sont expliqués par de nombreux facteurs comme la texture argileuse, le drainage, la situation sur la pente et le recouvrement par la végétation. De façon similaire, [10] soulignent l'influence du type de sol et de la composition spécifique dans la variabilité spatiale de stocks de biomasse, et donc de leur carbone en zone tropicale. En effet, [22] expliquent cette tendance par l'augmentation des paramètres de structure comme la densité. Dans cette étude, on peut noter que les différences les plus significatives entre les stocks de carbone aérien et souterrain des différents marécages pourraient résider dans l'importance relative de leur degré de recouvrement par la végétation qui est important dans le marécage à *C. papyrus*.

4-2. Stocks de carbone du sol

Dans le présent travail, le stock de carbone du sol le plus élevé est obtenu dans le marécage à *C. papyrus*. Ce stock de carbone élevé est surtout expliqué par la profondeur de ce marécage. Des résultats similaires aux nôtres ont distingué les stocks de carbone du sol sur la base des caractéristiques morphométriques [11]. Par ailleurs, il a été observé une variation du stock de carbone du sol probablement avec le type de composition floristique du marécage. Cette variation du stock de carbone du sol en fonction de la communauté végétale dominante est en accord avec les travaux de [23]. Dans une logique similaire, [24] attribue l'augmentation des stocks de carbone du sol à la production de la litière par la végétation.

4-3. Stock total de carbone

Notre étude indique globalement que le stock total du carbone dans les marécages étudiés provient essentiellement du stock de carbone du sol (82,91 - 98,04 %). Toutefois, en plus du stock de carbone du sol, l'important stock total de carbone du marécage à *C. papyrus* est fortement lié au stock du carbone aérien et souterrain. Ce résultat confirme celui de [22] signalant des stocks élevés de carbone dans les marécages à *C. papyrus* de la sous-région d'Afrique centrale. Il importe de souligner que le stock total de carbone de $411,02 \pm 30,19$ tC/ha obtenus dans le marécage à *C. papyrus* est supérieur au stock de carbone de $285,6 \pm 9,40$ tC/ha trouvés dans les forêts denses humides semi-caducifoliées de l'Est-Cameroun [25].

4-4. Relation entre facteurs biotopiques et stocks de carbone

Dans les marécages étudiés, les stocks de carbone aérien, souterrain et du sol ainsi que les stocks totaux de carbone sont tributaires des facteurs biotopiques. En effet, les facteurs biotopiques qui influencent le plus les stocks de carbone dans les marécages concernent la texture argileuse, le drainage très mauvais, la profondeur du sol, la situation sur la pente et le recouvrement par la végétation. De ce fait, ces facteurs contribuent pour une grande part aux stocks élevés de carbone du marécage à *C. papyrus*. Par contre les marécages à *C. senegalense*, *E. pyramidalis* et *R. corymbosa* occupant les terrains plats peu profonds et au sol à texture argilo-sableuse et à drainage mauvais stockent peu de carbone. C'est ainsi que [11] pensent que les particularités stationnelles induisent des variations différentielles des stocks de carbone qui varient d'une zone humide à l'autre. De manière globale, les stocks totaux de carbone des marécages à *C. senegalense*, *E. pyramidalis* et *R. corymbosa* sont négativement corrélés au carbone aérien, souterrain et du sol. Ce résultat s'explique par leur faible recouvrement par rapport au marécage à *C. papyrus*. Ce faible recouvrement par la végétation est aussi expliqué par une instabilité des conditions écologiques [24]. En effet, les marécages à *C. senegalense*, *E. pyramidalis* et *R. corymbosa* qui affichent les petites valeurs des stocks de carbone par rapport au marécage à *C. papyrus* sont soumis à la pression anthropique qui cause d'énormes dégâts tant sur la flore que la structure de ces formations végétales. D'autres scientifiques [15, 25] ayant travaillé en zone forestière tropicale indiquent une décroissance des stocks de carbone avec les caractéristiques structurales ; les stations aux caractéristiques structurales faibles étant les plus pauvres en carbone. Par ailleurs dans notre contexte, le stock total de carbone du marécage à *C. papyrus* fortement lié à la texture argileuse et s'oppose aux stocks totaux de carbone des autres types de marécages plus ou moins dépendant de la texture argilo-sableuse. Ainsi, les sols argileux renferment les agrégats qui protègent le carbone contre la dégradation due aux activités des microbes et des enzymes [26]. La stabilité de ces agrégats est influencée par la pression anthropique telle que les activités agricoles qui assèchent le sol et libèrent ainsi le carbone du sol [3]. L'anthropisation pourrait aussi expliquer pour sa part les différences observées dans les stocks de carbone. En effet, le gradient d'anthropisation comme facteur biotopique déterminant les stocks de carbone trouve tout son sens dans le marécage à *E. pyramidalis* avec une corrélation positive et significative. Ainsi, le stock total de carbone est beaucoup moins élevé dans ce marécage très anthropisé que dans le marécage à *C. papyrus* faiblement anthropisé. Cela veut dire que l'anthropisation du marécage à *C. papyrus* compromettra sa capacité de stockage de carbone. De ce fait, sa sauvegarde est déterminante pour la conservation durable de son potentiel de stockage de carbone.

4-5. Implications pour la conservation

Nos résultats suggèrent que le stockage de carbone dans les marécages est influencé par plusieurs facteurs biotopiques. Une étude plus approfondie des facteurs qui influencent les stocks de carbone mérite d'être menée. Cette étude a aussi révélé que ces marécages renferment près de 744,76 t C/ha, ce stock global est supérieur aux 722 t C/ha obtenus dans les tourbières tropicales mexicaines [2]. A cet égard, ces milieux méritent d'être conservés dans le contexte actuel d'anthropisation croissante dans l'optique d'éviter leur conversion en milieux sources de carbone. Au rang des mesures à prendre, il y a l'élaboration d'un plan de gestion participative ainsi que la création d'un cadre réglementaire et la sensibilisation des populations.

5. Conclusion

Cette étude a permis de déterminer les stocks de carbone des marécages à herbacées de la ville de Yaoundé et ses environs et une meilleure connaissance des facteurs biotopiques qui les influencent. D'une part les résultats ont mis en évidence la variabilité des stocks de carbone entre les différents types de marécages. Le marécage à *C. papyrus* avec $411,02 \pm 30,19$ tC/ha, renferme le stock total de carbone le plus élevé par rapport aux autres types de marécages pour lesquels les stocks de carbone varient entre $77,14 \pm 15,68$ à $141,61 \pm 7,48$ tC/ha. D'autre part les méthodes utilisées dans l'analyse de nos résultats montrent que les corrélations existent entre les stocks de carbone et les facteurs biotopiques. Au niveau des facteurs utilisés, on constate que les variables telles la texture argileuse, le drainage, la profondeur du sol, le recouvrement et la situation sur la pente ont une influence significative sur les stocks de carbone. Ces résultats obtenus peuvent donc servir de base scientifique pour orienter la gestion durable des marécages de la ville de Yaoundé et ses environs.

Remerciements

Nous remercions Messieurs ZOCK Bruno étudiant en Master II et FOMEKONG LONTCHI Judicael doctorant en Zoologie à l'Université de Yaoundé pour leur contribution respective dans l'élaboration de la carte de localisation des différents sites d'étude et l'analyse en composantes principales des données de ce travail.

Références

- [1] - W. J. MITSCH, B. BERNAL, A. M. NAHLIK, U. MANDER, L. ZHANG, C. J. ANDERSON, S.E. JØRGENSEN and H. BRIX, Wetlands, carbon, and climate change. *Springer*, (2012) DOI 10.1007/s10980-012-9758-8
- [2] - M. F. ADAME, N. S. SANTINI, C. TOVILLA, A. VAZQUEZ-LULE, L. CASTRO and M. GUEVARA, Carbon stocks and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. *Biogeosciences*, 12 (2015) 3805 - 3818
- [3] - C. CRAFT, J. VYMAZAL, L. KRÖPFELOVÁ, Carbon sequestration and nutrient accumulation in floodplain and depressional wetlands. *Ecol. Eng.*, 114 (2018) 137 - 145
- [4] - GIEC, Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer], GIEC, Genève, Suisse, 161 (2014) p.
- [5] - Convention de Ramsar, Le Manuel de la Convention de Ramsar : Guide de la Convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971), 6e édition. Secrétariat de la Convention de Ramsar, (2013)
- [6] - G. P. DKAMELA, Le contexte de la REDD+ au Cameroun : causes, agents et institutions. Papier Occasionnel 57. CIFOR, Bogor, Indonésie, (2011). www.cifor.cgiar.org (21 avril 2020)
- [7] - CCNUCC, « A guide to the Climate Change Process ». 2e édition, (2002), <http://unfccc.int/ressource/process/guideprocess-p.pdf> (21 avril 2020)
- [8] - N. BASSI, M. D. KUMAR, A. SHARMA and P. PARDHA-SARADHI, Status of wetlands in India: a review of extent, ecosystem benefits, threats and management strategies. *J Hydrol.Reg. Stud.* 2, (2014) 1 - 19
- [9] - A. M FIORE, V. NAIK and E. M. LEIBENSPERGER, Air quality and climate connections. *J. Air Waste Manag. Assoc.*, 65 (2015) 645 - 85
- [10] - S. PAL, B. CHATTOPADHYAY, S. DATTA and S. K. MUKHOPADHYAY, Potential of Wetland Macrophytes to Sequester Carbon and Assessment of Seasonal Carbon Input into the East Kolkata Wetland Ecosystem. *Springer*, (2017) DOI 10.1007/s13157-017-0885-5

- [11] - S. PRIYANKA, D. TAPATI and A. DIBYENDU, Variation in species assemblages due to micro-topography and flow regime govern vegetation carbon stock in seasonal floodplain wetlands. *Ecological processes*, 8 (2019) 1 - 15
- [12] - O. BARTHOLOMÉE, K. GRIGULIS, M. P. COLACE, C. ARNOLDI and S. LAVOREL, Methodological uncertainties in estimating carbon storage in temperate forests and grassland. *Ecological Indicators*, N° 95 (2018) 331 - 342
- [13] - R. K. KOLKA, D. MURDIYARSO, J. B. KAUFFMAN and R. A. BIRDSEY, Tropical wetlands, climate, and land-use change : adaptation and mitigation opportunities. *Wet. Ecol Manage*, 24 (2016) 107 - 112
- [14] - L. D. KONO, M. A. MBARGA BINDZI, H. ANGONI, H. E. BIYE and G. H. ENDANGA, Allocation de carbone des peuplements de *Cyperus papyrus* (*Cyperaceae*) dans les zones humides forestières : cas de la zone urbaine et péri-urbaine de Yaoundé (Cameroun). *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 70 (2015) 148 - 165
- [15] - Y. ENOCK BOCKO, Quantification Des Stocks De Carbone De Trois Pools Clés De Carbone En Afrique Centrale : Cas De La Forêt Marécageuse De La Likouala (Nord Congo). *European Scientific Journal*, 13 (2017) 1857 - 7431
- [16] - S. A. ABOSSOLO, J. A. AMOUGOU, M. TCHINDJANG, M. S. MENA and R. A. S. BATHA, Analyse des précipitations annuelles à la station de Yaoundé de 1895 à 2006. *Afrique SCIENCE*, 11 (2) (2015) 183 - 194
- [17] - R. LETOUZEY, Notice de la carte phytogéographique du Cameroun au 1 :500.000. IRA, Yaoundé, Institut de la Carte Internationale de la Végétation, Toulouse, (1985)
- [18] - L. ZAPFACK, V. NOIHA NOUMI, P. J. DZIEDJOU KWOUOSSU, L. ZEMAGHO and T. FOMETE NEMBOT, Deforestation and Carbon Stocks in the Surroundings of Lobéké National Park (Cameroon) in the Congo Basin. *Environment and Natural Resources Research*, Vol. 3, (2) (2013) 78 - 86
- [19] - G. SARMIENTO, M. PINILLOS, I. GARAY, Biomass variability in tropical American lowland rainforests. *Ecotropicos*, 18 (2005) 1 - 20
- [20] - A. D. BAZOGE, LACHANCE and C. VILLENEUVE, Identification et délimitation des milieux humides du Québec méridional, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction de l'écologie et de la conservation et Direction des politiques de l'eau, (2014) 64 p.
- [21] - M. A. MBARGA BINDZI, P. P. ENDELE, L. D. KONO and J. C. ZEKENG, Impact de l'anthropisation sur les caractéristiques structurales et écologiques des peuplements ligneux des marécages de la ville de Yaoundé et ses environs (Cameroun). *Cameroon Journal of Biological and Biochemical Sciences*, 25 (2017) 33 - 44
- [22] - M. J. SAUNDERS, F. KANSIIME and M. B. JONES, Reviewing the carbon cycle dynamics and carbon sequestration potential of *Cyperus papyrus* L. wetlands in tropical Africa. *Wetlands Ecol. Manage*, (2013) DOI 10.1007/s11273-013-9314-6
- [23] - M. F. ADAME, N. S. SANTINI, C. TOVILLA, A. VAZQUEZ-LULE, L., CASTRO and M. GUEVARA, Carbon stocks and soil sequestration rates of tropical riverine wetlands. *Biogeosciences*, 12 (2015) 3805 - 3818
- [24] - O. BARTHOLOMÉE, S. LAVOREL, D. LABARRAQUE and S. GAUCHERAND, Évolution des stocks de carbone en fonction des trajectoires de gestion en zone humide. *Sciences Eaux & Territoires*, (50) (2018) 1 - 8
- [25] - J. C. ZEKENG, M. T. VAN DER SANDE, J. L. FOBANE, W. N. MPHINYANE, R. SEBEGO and M. M. ABADA MBOLO, Partitioning main carbon pools in a semi-deciduous rainforest in eastern Cameroon. *Forest Ecology and Management*, (457) (2020) 1 - 13
- [26] - J. A. VILLA and W. J. MITSCH, Carbon sequestration in different wetland plant communities in the Big Cypress Swamp region. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, (11) (2015) 17 - 28