



Original Paper

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

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

Caractérisation physico-chimique et dendrométrie dans les traitements de régénération de mangrove de l'Estuaire du Cameroun

Remcel Dumont TAZO FOPI^{1*}, Martin NGANKAM TCHAMBA^{1,2} et
Gordon NWUTIH AJONINA^{2,3}

¹Departement de Foresterie, Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles (FASA), Université de Dschang, P.O. Box 96, Dschang- Cameroun.

²Cameroon Wildlife Conservation Society, P.O. Box. 54 Mouanko- Cameroun, Région du Littoral -Cameroun.

³Department de Gestion des Ecosystèmes Aquatiques, Institut des Sciences Halieutiques (ISH), Université de Douala, P.O. Box .24157, Douala-Cameroun.

*Auteur correspondant ; E-mail : remceldumonttazo@yahoo.fr; Tél.: + (237) 674007560/ 696206282,

Received: 13-12-2017

Accepted: 31-08-2018

Published: 31-12-2021

RESUME

Malgré l'échec des initiatives de régénération à restaurer les écosystèmes de mangroves diversifiés et fonctionnels, les études sur le rôle joué par le milieu physicochimique sont rares. Cette étude a été menée pour déterminer les paramètres dendrométriques, les propriétés physicochimiques de l'eau et du sol et comment elles influencent le processus de régénération des mangroves. Pour cela, deux transects de 40 m de long et 10 m de large ont été établis par site, subdivisés ensuite en placettes de 100 m² dans lesquelles les plantules ont été mesurées, des échantillons d'eau et de sol prélevés et analysés. Les tests statistiques ANOVA à un facteur et de corrélation de Pearson, au seuil de 5%, ont été utilisés pour, respectivement, comparer les deux sites et croiser les catégories de paramètres. Les meilleurs paramètres dendrométriques ont été enregistrés dans la parcelle de régénération naturelle de Tiko. Les valeurs des propriétés physicochimiques de l'eau montraient que ce site, proche du milieu urbain, est plus pollué que la plantation de Mbiako, situé en milieu rural. Par ailleurs, les sols étaient organiques et hyper acides mais soumis à une faible minéralisation. La matrice de corrélation montrait une forte influence des propriétés physicochimiques de l'eau en particulier la turbidité, salinité, conductivité et résistivité électriques et les solides totaux dissouts mais aussi de certaines propriétés chimiques du sol comme le potassium, sodium, phosphore et potentiel hydrogène sur le diamètre, hauteur et densité des plantules. De ces résultats, il faudrait prendre en compte ces facteurs déterminants lors des opérations sylvicoles pour garantir le succès des initiatives de régénération des mangroves.

© 2021 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Milieu physicochimique, plantation, plantule, régénération naturelle.

Characterization of physicochemical and dendrometric parameters in mangrove regeneration treatments of the Cameroon Estuary

ABSTRACT

Despite the failure of regeneration initiatives to restore diversified and functional mangrove ecosystems, the studies on the role of physicochemical environment are rare. This study was conducted to determine dendrometric parameters, physicochemical properties of water and soil and how the latter could influence the

mangrove regeneration processes. So two transects of 40 m long and 10 m wide were established per study area. Those transects were then divided into plots of 100 m² inside which seedlings were measured, soil and water samples were taken and analyzed. The one way ANOVA and correlation tests, at 5% threshold, were used, respectively, to compare the two study areas and correlate the parameter categories. The best dendrometric parameters were observed in the Tiko natural regeneration parcel. The values of physicochemical properties of water showed that this site, close to the urban zone, is more polluted than the one of Mbiako plantation, situated in rural zone. Moreover, the soils of the two sites were hyper acidic and organic but submitted to low mineralization processes. The Pearson correlation table showed a high influence of physicochemical parameters of water particularly the turbidity, salinity, electric conductivity and resistivity and the total dissolved solids in water but also some chemical properties of soil such as potassium, sodium, phosphorous and hydrogen potential on diameter, height and density of seedlings. According to these results, it is necessary to take into account those determinant factors during forestry operations for guarantee the success of mangrove regeneration initiatives.

© 2021 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Natural regeneration, physicochemical environment, plantation, seedlings.

INTRODUCTION

Le long des côtes camerounaises, les mangroves couvrent une superficie de 1961, 84 km² (Spalding et al., 2010). Elles sont principalement distribuées entre deux estuaires (estuaire du Cameroun et estuaire du Rio del Rey) mais sont présentes également sous forme de petits peuplements à superficie variable dans la région du Sud-Cameroun (estuaire du Rio Ntem).

Les mangroves sont classées parmi les écosystèmes les plus productifs et importants biologiquement (Giri et al., 2010). Ecotone entre l'environnement terrestre et marine, ce sont des zones structurelles et fonctionnelles uniques jouant un rôle important dans la chaîne alimentaire côtière (NOAA, 2002); et représentent autant un habitat, qu'une aire d'alimentation, un lieu de repos, de reproduction ou un refuge pour les diverses communautés animales qui y résident (Ajonina et al., 2016). En outre, les marais de mangrove jouent un rôle de barrières physiques contre les tempêtes tropicales et les vagues à travers la réduction de la vitesse des courants marins, la rétention d'excédents de sédiments, la stabilisation du sol et la réduction des risques d'érosion (NOAA, 2002). Ces forêts contribuent aussi à la purification de l'air et de l'eau et à la prévention du changement climatique à travers la séquestration du carbone (Ajonina et al., 2014 ; Chaudhari et Pachpande, 2015).

Les écosystèmes de mangrove recèlent également d'abondantes ressources ligneuses

et non ligneuses, halieutiques et des terres favorables aux activités aquacoles. De ce fait, ils constituent une source de revenus, d'activités commerciales et de subsistance comme les pêcheries, l'exploitation du bois, l'extraction du sable et l'écotourisme (NOAA, 2002).

Malgré leurs nombreuses bénéfices reconnus, les mangroves de la côte camerounaise comme d'ailleurs subissent de nombreuses pressions liées à l'expansion urbaine, le développement économique (agro-industries, activités portuaires, exploration et exploitation des hydrocarbures, exploitation forestière artisanale, pêche non contrôlée, navigation maritime, etc.) avec des niveaux de pollution marines et fluviales très élevés associés à ces activités (MINEPDED et ENVI-REP, 2010). A ces facteurs de dégradation, s'ajoutent le manque de coordination entre les différents secteurs ministériels et acteurs, un cadre légal non approprié, la propagation des espèces envahissantes, la prédation des propagules par les herbivores et le changement climatique. Par conséquent, les superficies de mangrove sont continuellement en train de diminuer. Le taux de dégradation annuel était estimé à 3000 ha de mangrove perdu (UNEP, 2007) dont 1000 ha pour les seules mangroves de l'Estuaire du Cameroun (Din et al., 2008). C'est ainsi qu'au Cameroun, on est passée de 2060 km² en 2000 à 2051 km² en 2010, soit un taux de dégradation de 1,04% par an (Ajonina et al., 2014).

La destruction à grande échelle des mangroves, couplée à l'appréciation croissante de leurs valeurs écologique et socioéconomique a conduit à l'émergence des efforts de restauration à l'échelle mondiale, régionale et nationale. Les approches par régénération naturelle et artificielle sont à la fois préconisées. Au Cameroun par exemple, des acteurs à l'instar du gouvernement à travers ses ministères de l'environnement (MINEPDED, du MINFOF) et ses partenaires tels l'ONG Cameroun Ecologie, le Réseau Camerounais des Mangroves et des Zones Humides (RCM), la Cameroon Wildlife Conservation Society (CWCS) et des communautés locales ont activement planté des centaines d'hectares de mangroves dégradées à travers des techniques de semis direct par propagules et de repiquage des plants issus des pépinières (Ajonina et al., 2016). Cependant, considérant les mangroves comme faciles à réhabiliter, leur restauration consiste de fois tout simplement en des plantations hâtives ou tardives des espèces inappropriées aux endroits inappropriés (RCM, 2015) qui sont le plus souvent couplées à l'incivisme des populations riveraines et à un manque de suivi après plantation. Il s'en est résulté des échecs caractérisés par une forte mortalité, une faible croissance des plantes et une faible diversité du peuplement (WRM, 2010).

Les processus de régénération des mangroves étant mal maîtrisés jusqu'ici, il est nécessaire de se lancer dans la compréhension des facteurs qui les conditionnent. Selon Ajonina (2008), la régénération des mangroves est conditionnée par les constituants physico-chimiques et biologiques qui font et interagissent avec le système. Des recherches récentes suggèrent que les propriétés du milieu (sol et eau) influencent sur la végétation, la composition spécifique et la structure des forêts de mangrove (Hossain et Nurrudin, 2016). Or ces facteurs sont rarement pris en considération dans les initiatives de régénération de mangrove au Cameroun en général, dans l'estuaire du Cameroun en particulier et dans les opérations de suivi et d'évaluation de ces dernières. Aussi, peu ou pas d'études sont faites pour comprendre cette

relation et sa dynamique. Au vue des observations ci-dessus, l'objectif principal de la présente étude était de déterminer l'influence des propriétés physico-chimiques de l'eau et du sol dans les processus de régénération des mangroves de l'estuaire du Cameroun en vue d'un aménagement plus durable de ces forêts.

MATERIEL ET METHODES

Sites d'étude

L'étude a été réalisée d'une part dans la localité de Mbiako, situé dans la Réserve de Faune de Douala Edéa, Arrondissement de Mouanko, Département de la Sanaga maritime, Région du Littoral et entre les coordonnées géographiques 3°35'26" Nord et 9°38'30" Est. Elle a été réalisée d'autre part dans la localité de Tiko qui est en soi une Commune et un Arrondissement dans le Département du Fako, Région du Sud-Ouest et entre 4°4'42" Nord et 9°22'5" Est. Ces deux localités appartiennent au bloc de mangrove de l'Estuaire du Cameroun (Figure 1).

A Mbiako, il a été mis en place en 2016 une plantation de mangrove par combinaison du repiquage direct de propagules et sauvages et par pépinière par les communautés locales sous l'encadrement de l'ONG CWCS. A Tiko par contre, il existe une parcelle en régénération naturelle dont les premiers plants commencent à pousser suite à la mise en défens du site en 2015 par l'autorité portuaire de Tiko.

La population de la localité de Tiko est estimée à 134 649 habitants composé d'un mélange de tribus dont des régions camerounaises (Bafut, Bali, Banson, Aghem, Kom, Wimbom, Bamilélé, Bangwas, Bayangis, Orokos, Mbohs, etc.) et du Nigéria (Ibos et Edjos). La population de Mbiako, par contre, est estimée à 703 âmes desquelles plus de 80% d'étrangers venant du Bénin, Ghana, Nigéria, etc. (Moudingo et al., 2015). Les principales activités économiques de ces populations sont la pêche, l'extraction de sable, la collecte d'autres produits halieutiques comme les moules et les coquillages, le fumage du poisson, la chasse, l'agriculture, la coupe et la commercialisation du bois de palétuvier et le petit commerce sur étalage.

Le climat de la zone d'étude est sous l'influence de la proximité de l'Océan. La pluviométrie dans les deux sites varie entre 3000 et 4000 mm avec juillet comme mois le plus pluvieux à Tiko et septembre à Mbiako. Les températures moyennes se situent entre 24°C et 29°C. Les sols varient du sableux au sableux-limoneux avec quelques zones de sols volcaniques très favorable à l'agriculture, dans la localité de Tiko. L'ensemble de la végétation de l'Estuaire du Cameroun est essentiellement constituée des mangroves estuariennes mais il existe aussi des mangroves fluviales qui couvrent les rives des cours d'eaux, séparées de la forêt atlantique de l'arrière-pays par un complexe marécageux des eaux saumâtres. La flore aquatique, quant à elle, se subdivise en trois types de formations végétales: une forêt marécageuse, une forêt de mangrove, une forêt sur cordons littoraux sablonneux. Selon l'UNEP (2007), cette flore est dominée par *Rhizophora racemosa* (Rhizophoraceae) et *Avicenna germinans* (Avicenniaceae).

Méthodes

La méthode d'échantillonnage était celle des transects. Deux transects permanents de 40 m de long sur 10 m de large, soit une superficie de 400 m² chacun, ont été établies perpendiculairement au canal principal de chaque site d'étude. Chaque transect a été subdivisé en quatre placettes de 10 m*10 m (Figure 2). Les mensurations de chaque plantule étiquetée au préalable se font à l'intérieur de ces placettes et concernaient les diamètres de la tige, les hauteurs ainsi que le comptage des plantules à l'intérieur de la placette.

L'échantillonnage et la mesure des paramètres physicochimiques de l'eau sont faits *in-situ*, au centre des placettes, en marée basse, dans des trouées de 10 cm de diamètre et 50 cm de profondeur et à l'aide d'une sonde multi paramètres de marque HANA modèle HI9829-0110. Les échantillons de sol ont été prélevés aux mêmes points que ceux de l'eau à l'aide des tuyaux PCV de 2,8 cm de diamètre

intérieur et aux niveaux de profondeur de 0 à 30 cm et de 30 à 50 cm.

Analyse des échantillons de sol

Trente-deux (32) échantillons composites obtenus de 0-30 cm (huit échantillons par site) et de 30-50 cm (huit échantillons par site) de profondeurs ont été conduits au Laboratoire d'Analyses des Sols et de Chimie de l'Environnement (LABASCE) de l'Université de Dschang. La densité apparente (Da en g/cm³) a été déterminée suivant la méthode des cylindres sur les échantillons non perturbés. Le pH a été mesuré par électrométrie au pH- mètre selon Pansu et Gauthier (2003). Le carbone organique a été mesuré par la méthode du taux d'imbrulé par perte au feu sur le déchet préalablement séché. La matière organique est calculée par convention internationale selon la relation suivante : M.O (%) = carbone x 1,724. L'azote total a été déterminé par la méthode du micro-Kjeldahl et le phosphore par la méthode Bray II. Le potassium et sodium ont été déterminés par lecture à l'aide d'un photomètre d'absorption atomique.

Analyses statistiques

Les données collectées ont été statistiquement manipulées et analysées par deux approches : les statistiques descriptives et inférentielles. L'analyse statistique descriptive a consisté à arranger les données dans le tableur Excel 2016 et à obtenir les résultats sur la forme de tableaux et de graphiques. L'analyse statistique inférentielle a été effectuée au moyen du logiciel SPSS.21 et ce dernier servait à déterminer s'il y a une différence significative entre les caractéristiques dendrométriques et physicochimiques du milieu des différents sites (traitements de régénération) en utilisant le test ANOVA à un facteur au seuil de 5%. Pour croiser ces deux catégories de données en vue de déterminer la relation qui existe entre elles, on a eu recours à la corrélation linéaire de Pearson suivi d'un test de significativité de la corrélation et du traçage des droites et courbes de régression linéaire.

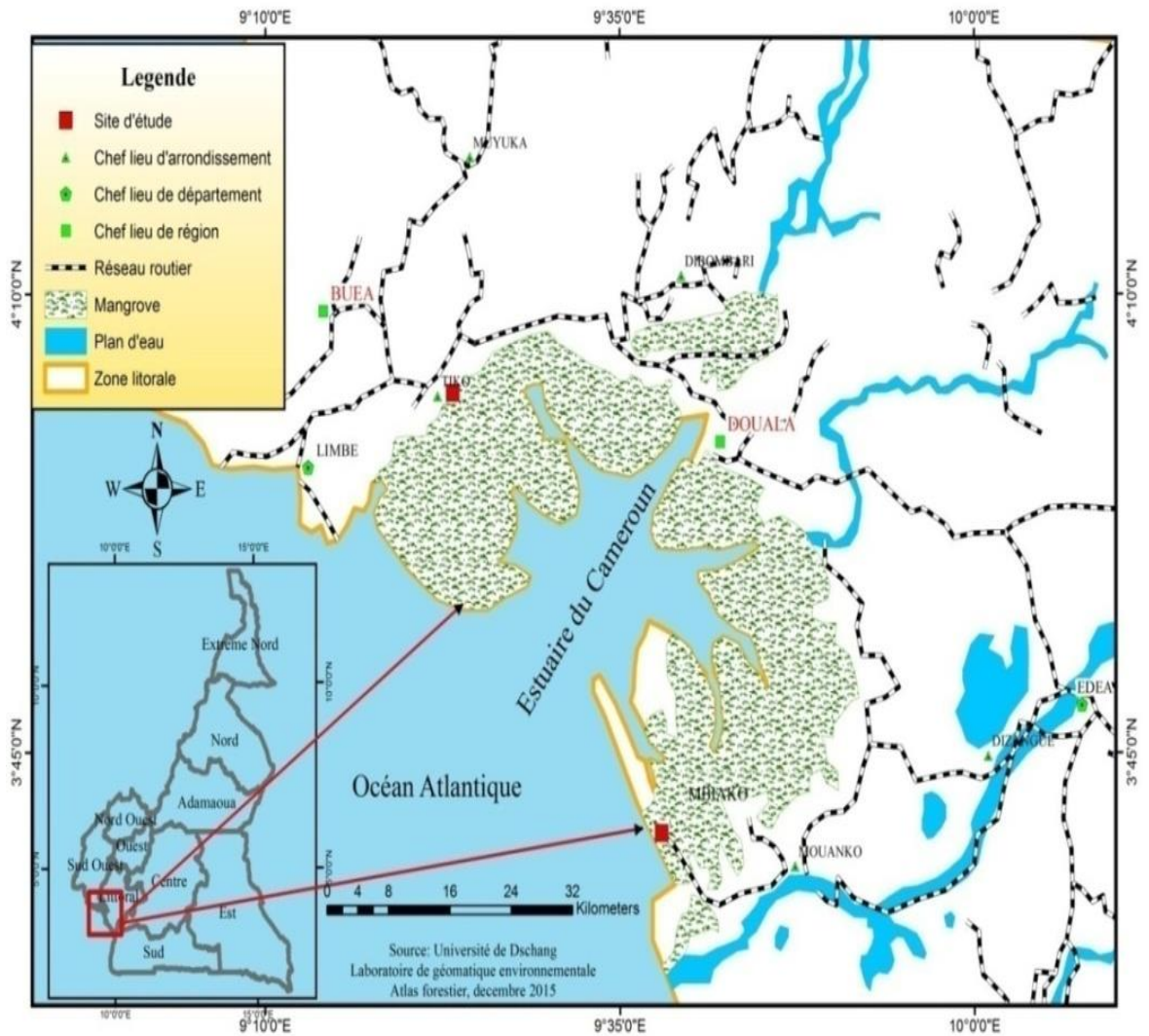


Figure 1 : Localisation des sites d'étude dans les mangroves de l'Estuaire du Cameroun.
 Source : Université de Dschang, Laboratoire de Géomatique Environnementale.

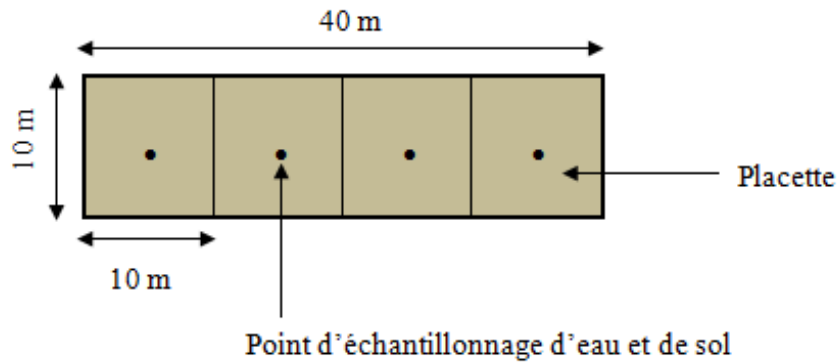


Figure 2 : Présentation de l'unité d'échantillonnage.

RESULTATS

Caractéristiques dendrométriques des jeunes peuplements de mangrove

Les plantules du site de Mbiako présentent un diamètre moyen, une hauteur moyenne, une densité, une surface terrière et un volume du bois respectivement de $1,08 \pm 0,04$ cm, $79,89 \pm 1,82$ cm, 1675 plants/ha, $0,18$ m²/ha et 10^{-6} m³/ha. Ces paramètres dendrométriques sont largement supérieurs dans le site de Tiko où on a enregistré $1,43 \pm 0,03$ cm, $94,04 \pm 1,48$ cm, 9750 plants/ha, $2,1$ m²/ha et 10^{-5} m³/ha respectivement (Tableau 1). Cette différence pourrait être due, d'une part, à l'âge de la plantation de Mbiako (un an) qui est inférieur à celui de la régénération naturelle de Tiko (environ deux ans d'après la dernière coupe du bois). D'autre part, cela s'expliquerait par l'écartement entre les plants ($2,5$ m \times 2 m) préalablement défini pour cette plantation mais aussi par la perturbation anthropique quasi absente dans la parcelle de Tiko (mis en défens par l'autorité portuaire) et très forte à Mbiako (accès à la plantation non contrôlé).

Caractéristiques physico- chimiques de l'eau des sites de mangroves étudiées

Le Tableau 2 présente les caractéristiques physico- chimiques de l'eau des jeunes peuplements de mangroves étudiées. Les valeurs de température (T °C) de l'eau des mangroves étaient de $28,66 \pm 0,15$ °C à Mbiako contre $29,49 \pm 0,16$ °C à Tiko. La valeur moyenne du pH de l'eau était de $5,80 \pm 0,1$ pour la plantation de Mbiako et de $6,52 \pm 0,04$ pour la régénération naturelle de Tiko. La mangrove de Tiko est très réductrice ($-309,91 \pm 13,73$ mV) alors que celle de Mbiako l'est moyennement ($-65,05 \pm 12,85$ mV).

Les valeurs moyennes de conductivité électrique ($24249,88 \pm 3208,58$ μ S/cm), de solides totaux dissouts ($12,12 \pm 1,60$ ppt) et de salinité ($16,21 \pm 2,18$ g/l) de Tiko étaient largement supérieures à celles de Mbiako ($2204,25 \pm 71,45$ μ S/cm; $1,12 \pm 0,04$ ppt et $1,13 \pm 0,04$ g/l respectivement) contrairement à celles de la résistivité ($96,13 \pm 59,56$ Ohm-cm à Tiko contre $456,88 \pm 13,55$ Ohm-cm à Mbiako). Ceci s'expliquerait par la forte pollution du site périurbain de Tiko en ions solubles et en

éléments minéraux provenant des industries chimiques environnantes. Cependant, la moyenne de turbidité de l'eau plus grande à Mbiako ($921,2 \pm 78$ FNU) par rapport à Tiko ($582,46 \pm 159$ FNU), témoigne du fort trouble des eaux de ce site. De manière générale, à l'exception de la turbidité, dont les teneurs sont comparables ($P > 0,05$), tous les autres paramètres physiques de l'eau en saturation sont significativement différents dans les deux mangroves ($P < 0,05$).

Caractéristiques physico- chimiques du sol des sites de mangroves étudiées

Il ressort du Tableau 3 qu'en dehors des teneurs du sol en phosphore assimilable (P), potassium (K) et sodium (Na) qui se sont avérés significativement différentes ($P < 0,05$) entre les mangroves de Mbiako et de Tiko, les valeurs de potentiel Hydrogène (pH), densité apparente (Da), carbone organique (CO), matière organique (MO), azotes (N) et le rapport carbone sur (C/N) n'ont pas de différences significatives ($P > 0,05$). Ainsi on a obtenu des moyennes de Da comparables entre les deux sites ($0,43 \pm 0,03$ g/cm³ à Mbiako et $0,46 \pm 0,04$ g/cm³ à Tiko) mais des teneurs en CO de $2,26 \pm 0,42\%$ et $1,77 \pm 0,16\%$, en MO de $3,90 \pm 0,72\%$ et de $3,06 \pm 0,27\%$ respectivement dans ces deux sites. En outre, la teneur du sol en N était de $0,11\%$ pour les deux sites. Les valeurs de pH- H₂O étaient de $3,24 \pm 0,17$ à Mbiako et $2,98 \pm 0,14$ à Tiko et celles du pH-KCl de $2,6 \pm 0,17$ à Mbiako et $2,35 \pm 0,12$ à Tiko.

Le P disponible pour les plantes était plus grand à Mbiako ($40,63 \pm 3,32$ mg/kg) qu'à Tiko ($24,82 \pm 4,68$ mg/kg). Les bases échangeables du sol étaient pour le K de $0,27 \pm 0,03$ cmol/kg et $0,78 \pm 0,08$ cmol/kg et pour le Na de $0,48 \pm 0,04$ cmol/kg et $1,23 \pm 0,5$ cmol/kg à Mbiako et à Tiko respectivement.

Effets du milieu physico- chimique sur la régénération des mangroves

On peut constater en Figure 3, que, au seuil de probabilité de 5%, la densité des plantules avait une corrélation significativement négative avec la conductivité électrique ($r = -0,766$), les solides totaux dissouts ($r = -0,766$), la salinité ($r = -0,711$) et

la turbidité de l'eau ($r = -0,728$) dans la parcelle de régénération naturelle de Tiko. Cependant, cette corrélation était significativement positive avec la résistivité de l'eau ($r = 0,711$).

Les bases échangeables (K et Na) du sol avaient des corrélations significativement positives ($r > 0,7$) avec les diamètres et hauteurs des plantules à Tiko (Figure 4). Par contre, la teneur du sol en phosphore avait une corrélation significativement négative ($r = -0,795$) avec la densité des plantules sur le site de Mbiako et la teneur en azote une corrélation

moyennement négative avec cette densité ($r = -0,592$) à Tiko (Figure 5).

Le pH du sol avait une corrélation moyennement positive avec la hauteur et le diamètre des plantules dans les deux sites d'étude (Figure 6). Dans la plantation de Mbiako, les coefficients de corrélation (r) du pH étaient de 0,526 avec le diamètre et de 0,618 avec la hauteur. Dans la régénération naturelle de Tiko, ces coefficients étaient de 0,625 avec le diamètre et de 0,589 avec la hauteur.

Tableau 1: Synthèse des paramètres dendrométriques relatifs aux différents peuplements de mangroves étudiés.

Mangroves	Diamètre à la base (cm)			Hauteur totale (cm)			Densité (plants/ha)	Surface terrière (m ² /ha)	Volume (m ³ /ha)
	Min	Moy±es	Max	Min	Moy±es	Max			
Mbiako	0,2	1,08±0,04	2	28	79,89±1,82	145	1675	0,18	10 ⁻⁶
Tiko	0,6	1,43±0,03	5	16	94,04±1,48	280	9750	2,1	10 ⁻⁵

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux de mangrove.

Paramètres	Mangroves		P	Signification
	Mbiako	Tiko		
T (°C)	28,66±0,15	29,49±0,16	0,002	*
pH	5,80±0,1	6,52±0,04	1,09759E ⁻⁵	*
ORP (mV)	-65,05 ± 12,85	-309,91 ± 13,73	5,6E ⁻⁰⁹	*
EC (µS/cm)	2204,25±71,45	24249,88±3208,58	7,6928E ⁻⁰⁶	*
Rés (Ohm-cm)	456,88±13,55	96,13±59,56	3,825E ⁻⁰⁵	*
TDS (ppt)	1,10±0,04	12,12±1,60	7,6953E ⁻⁰⁶	*
Sal (g/l)	1,23±0,04	16,21±2,18	7,6986E ⁻⁰⁶	*
Turb (FNU)	921,2±78,8	582,46±159	0,077	ns

Légende : Les valeurs sont la moyenne des différents points d'échantillonnage ±erreur-type ; *= significatif et ns= non significatif à p= 0,05. T (°C) = Température ; pH= potentiel d'hydrogène ; ORP = potentiel d'oxydoréduction ; EC = conductivité électrique ; Rés = Résistivité électrique ; TDS = Total des solides dissouts ; Sal = Salinité ; Turb = Turbidité.

Tableau 3 : Caractéristiques physiques et chimiques des sols de mangrove.

Paramètres	Mangroves		P	Signification
	Mbiako	Tiko		
pH eau	3,24±0,17	2,98±0,14	0,25	ns
pH KCl	2,6±0,17	2,35±0,12	0,24	ns
Da (g/cm ³)	0,43±0,03	0,46±0,04	0,64	ns
CO (%)	2,26±0,42	1,77±0,16	0,28	ns
MO (%)	3,90±0,72	3,06±0,27	0,28	ns
N (%)	0,11±0,02	0,11±0,01	0,99	ns
C/N	26±5	17±2	0,12	ns
P (mg/kg)	40,63±3,32	24,82±4,68	0,01	*
K (cmol/kg)	0,27±0,03	0,78±0,08	3,6507E ⁻⁶	*
Na (cmol/kg)	0,48±0,04	1,23±0,5	4,4579E ⁻¹³	*

Légende : Les valeurs sont la moyenne des différents points d'échantillonnage ±erreur-type ; * = significatif et ns= non significatif à p= 0,05. Da = densité apparente ; CO = carbone organique ; MO = matière organique ; N= azote total ; C/N = rapport carbone sur azote ; P = phosphore ; K= potassium, Na = Sodium.

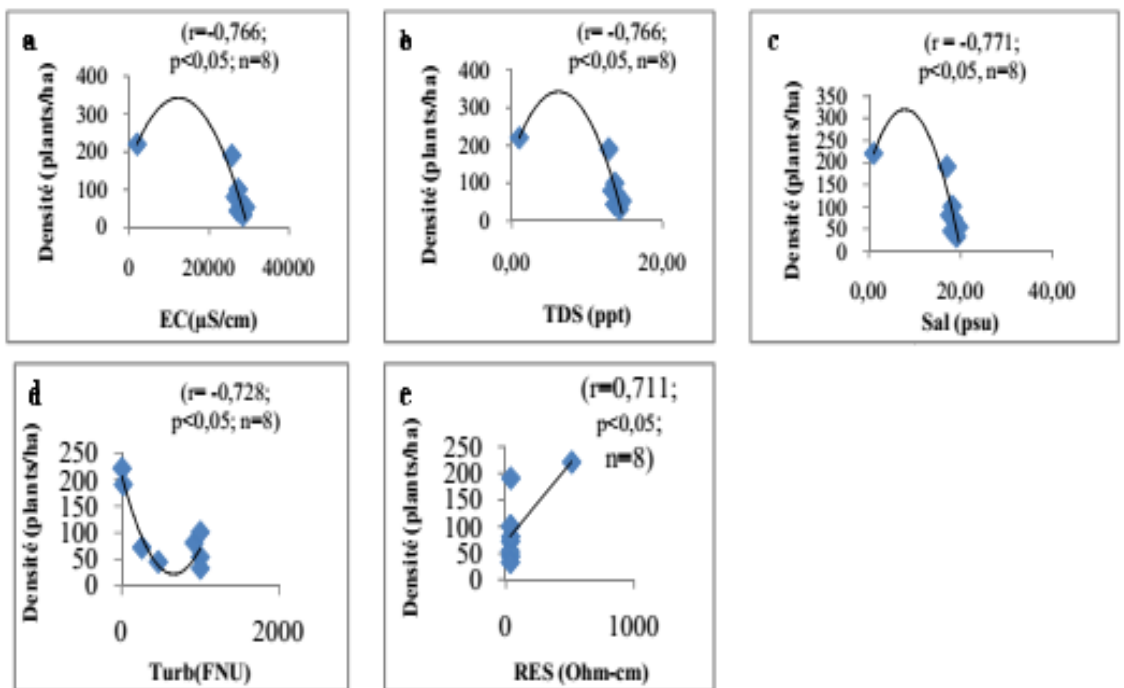


Figure 3: Corrélations significatives entre la densité des arbres et les propriétés de l'eau à Tiko ; (a) entre densité et conductivité électrique (b) entre densité et solides totaux dissous (c) entre densité et salinité (d) entre densité et turbidité (e) entre densité et résistivité électrique.

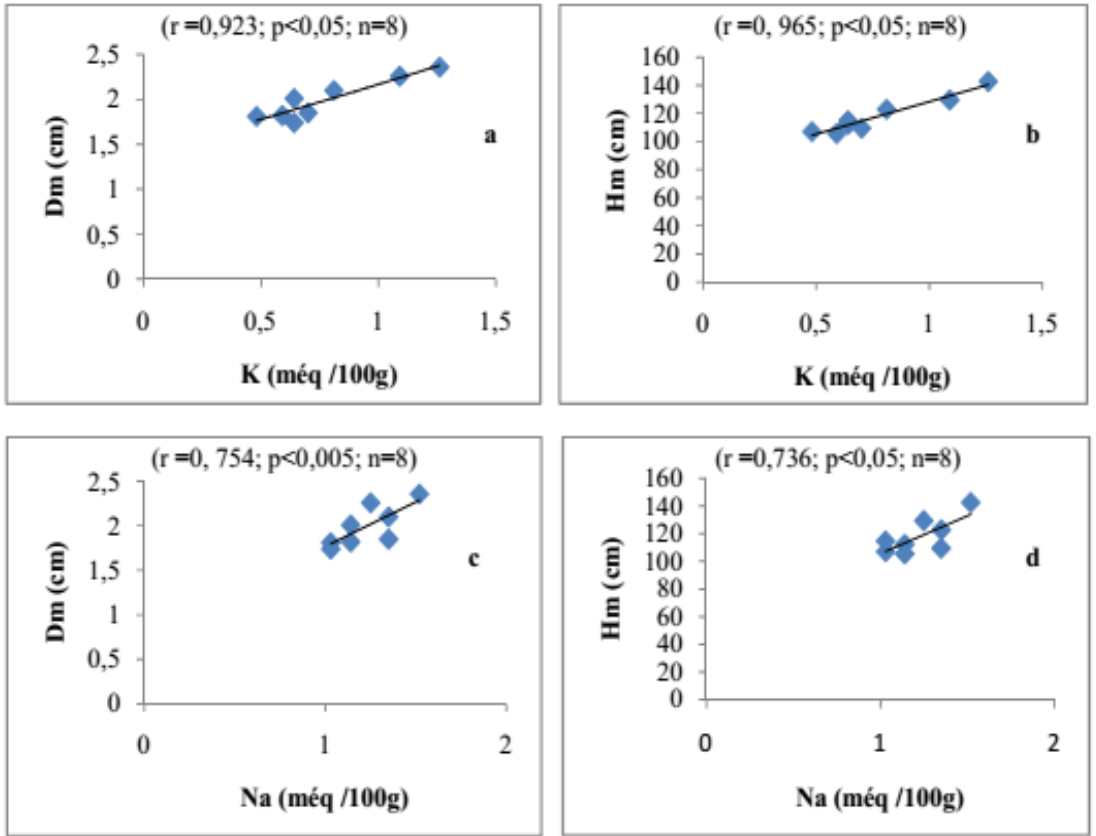


Figure 4 : Corrélations significatives entre les bases échangeables du sol et les caractéristiques des plantules à Tiko; (a) entre le potassium et le diamètre (b) entre le potassium et la hauteur (c) entre le sodium et le diamètre (d) entre le sodium et la hauteur.

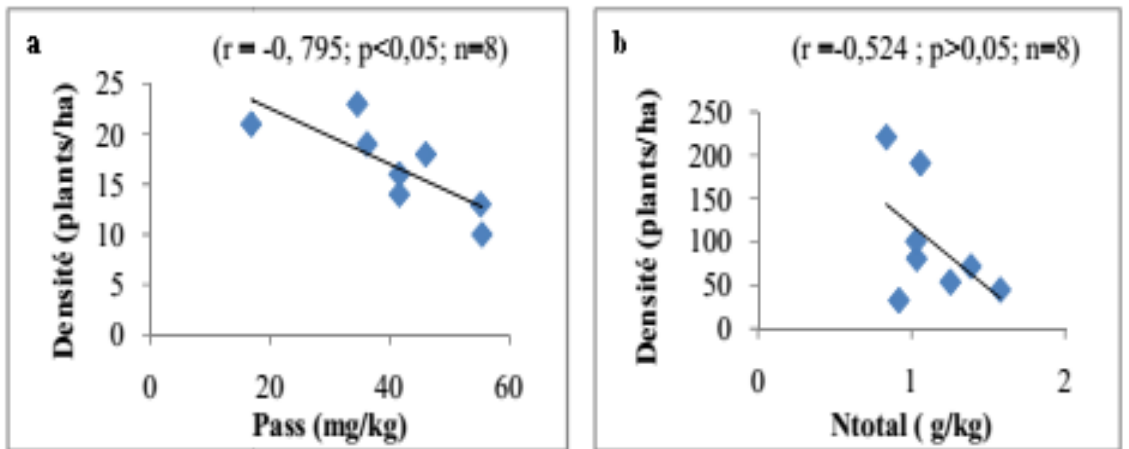


Figure 5 : Corrélations négatives entre les macroéléments du sol et la densité des plants, (a) significative entre le phosphore et la densité à Mbiako (b) moyenne entre l'azote et la densité à Tiko.

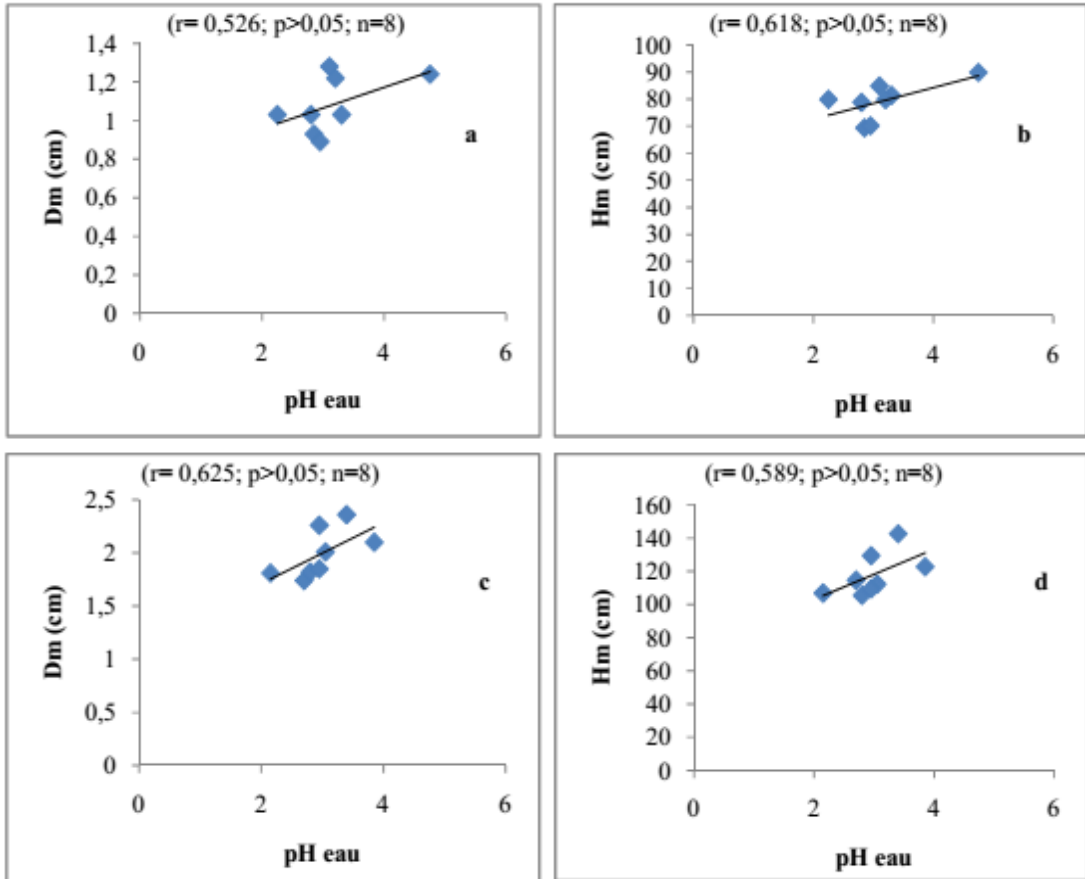


Figure 6: Corrélations moyennes positives entre les pH du sol et les caractéristiques de plantules dans les deux sites ; (a) entre le pH et le diamètre à Mbiako (b) entre le pH et la hauteur à Mbiako (c) entre le pH et le diamètre à Tiko (d) entre le pH et la hauteur Tiko.

DISCUSSION

Les valeurs moyennes de diamètre (Dm) et de hauteur (Hm) des plantules de la plantation de mangrove de Mbiako sont inférieures à celles obtenues par Etamé (2012) dans la plantation des bois de singes à Douala ($2,23\pm0,6$ cm pour Dm et $113,45\pm22,1$ cm pour Hm) également âgée d'un an. Cette différence s'expliquerait par les paramètres dendrométriques initiaux des plantules lors de la transplantation dont le Dm initial qui était de $1,4\pm0,1$ cm et le Hm initial de $63,8\pm5,8$ cm pour les bois de singes contrairement à $0,15$ cm et 30 cm respectivement pour la plantation de Mbiako. La densité et la surface terrière obtenues dans cette plantation sont largement

inférieures à celles trouvées par Donfack (2016) dans la régénération artificielle par repiquage direct de propagules de Bolondo (âgée d'un an), dans la Reserve de Faune de Douala- Edéa, qui était de 10737 plants/ha et $0,53$ m²/ha respectivement. Cette différence serait due, d'une part, à l'écartement entre les plants et à un fort taux de mortalité à Mbiako par rapport à Bolondo.

Les caractéristiques dendrométriques enregistrées dans la parcelle de régénération naturelle de Tiko sont inférieures à celles obtenues par Donfack (2016) dans la parcelle naturelle de *Rhizophora* spp. de la localité de Bolondo ($5,6\pm0,87$ cm, $8,87\pm1,03$ cm, 32211 plant/ha, $98,68$ m²/ha de Dm, Hm, densité,

surface terrière et de volume en bois respectivement). Ceci se justifierait par la jeunesse de la régénération naturelle de Tiko (à peine âgée de deux ans) par rapport à celles de Bolondo (dont l'âge indéterminée était certainement plus grand).

Les valeurs de température des deux sites ne dépassant pas 30 °C, donc sont en conformité avec les normes camerounaises sur les eaux de surfaces (ENVI-REP et MINEPDED, 2010). Selon ces mêmes auteurs, le pH de l'eau de Tiko tendant vers la neutralité est en conformité avec la norme camerounaise sur les eaux de mangrove contrairement à celui de Mbiako qui est acide. Les valeurs de salinité de l'eau des deux sites restent largement inférieures à celles reconnues aux eaux de mer au Cameroun (23‰ et 24‰). Ceci serait dû à la position estuarienne des deux sites qui bénéficient des fortes précipitations et d'entrées d'eau douces des fleuves tels que la Sanaga, la Dibamba, le Nyong, le Mounjo et Ombé qui diluent la salinité des eaux de mer.

La mangrove de Tiko était très réductrice alors que celle de Mbiako l'était moyennement. Puisqu'il est connu que le réseau du système racinaire favorise l'oxygénation du sédiment, dans la plantation de Mbiako, plus jeune et où les racines ne sont pas encore bien développées contrairement à Tiko où elles sont déjà échasses, on s'attendrait à ce que le sédiment soit moins enrichi en oxygène, donc plus réducteur. Mais il y a le facteur de la bioturbation à prendre en compte. En effet les crabes, à travers leurs activités bioturbatrices de construction de réseaux de terriers, modifient la structure des sédiments et augmentent les surfaces d'échanges avec l'atmosphère et l'eau et donc un renouvellement de l'oxygène (Thongtham et Kristensen, 2003). A Mbiako, le volume et la profondeur de ces terriers seraient plus importants que dans le site de Tiko; ce qui aurait augmenté la possibilité d'oxygénation du sol et aurait induit une augmentation des valeurs de potentiel redox dans cette plantation.

Les valeurs de Da du sol des deux sites se situent dans la gamme des sols organiques et les valeurs de MO au-dessus de la valeur critique de 2% viennent le confirmer. Selon Decoopman et al. (2013), ces seuils sont satisfaisants car permettant de limiter les risques d'asphyxie des racines des arbres et d'érosion des sols. Cependant, puisque les valeurs d'azote total dans les deux sites étaient faibles (<0,15%) et le rapport C/N élevé (>12), on peut conclure à une faible activité biologique, ramenant à une faible décomposition de la MO et une minéralisation réduite (LCA, 2008). Les teneurs en K et en Na étaient faibles dans le site artificiel et moyennes dans le site naturel mais ne respectent pas l'ordre de lessivage des bases (Na<K<Mg<Ca) donné par Etamé (2004).

Les valeurs de pH des sols les classent dans la catégorie des sols très acides selon le statut acido-basique des sols du projet PNUD/FAO tel que présenté par Nguéye (2013). Cette hyperacidité se justifierait d'une part par la dominance de *Rhizophora racemosa* dans les deux sites et d'autre part par la dégradation de la vieille mangrove avant la mise en place de la régénération. En effet, la décomposition des racines de cette espèce de mangrove conduit à une forte production des sulfures à partir des composés sulfatés du sol et des sulfates provenant de l'eau de mer. Ces sulfures sont réoxydés en sulfates acides, engendrant une forte acidité du sol (Ranaivoson, 2001).

La corrélation négative entre la densité des plantules et certains propriétés physicochimiques de l'eau (conductivité électrique, solides totaux dissouts, salinité et turbidité) mais positive avec la résistivité corrobore l'hypothèse de l'UNDP et al. (2009) qui stipulaient que quand la salinité des mangroves augmente, la productivité diminue. En effet, ces paramètres de l'eau, corrélés entre eux, témoignent du niveau de pollution. Donc plus ils sont élevés (à l'opposé de la résistivité)

plus l'eau est polluée et toxique pour les plantes, ce qui inhibe leur croissance.

Les bases échangeables du sol (K et Na) sont positivement corrélées aux paramètres dendrométriques des mangroves car ces éléments jouent un rôle essentiel dans plusieurs processus physiologiques et dont la principale fonction de régulation du potentiel osmotique intracellulaire aide à atténuer le stress d'eau causé par les salinités élevées des mangroves (Farooqui et al., 2016). Par contre, les macroéléments du sol (N et P) ont une corrélation négative avec la densité des plantules car elles deviennent toxiques pour ces dernières à des concentrations excessives et favorisent la croissance anormale de la végétation aquatique, comme le phytoplancton et les algues et autres plantes envahissantes (CRAAQ, 2006). C'est le cas avec *Nypa fruticans* et de *Acrostichum aureum* dans la plantation de mangrove de Mbiako.

La corrélation positive entre le pH du sol et les paramètres dendrométriques rejoint l'hypothèse de Boyer (1970) selon laquelle la forte acidité limite l'activité des bactéries qui minéralisent la matière organique. Inversement, des pH élevés ou basiques accélèrent celle-ci et il s'ensuit la libération de l'azote disponible pour les plantes.

Conclusion

L'étude sur la caractérisation physico-chimique et dendrométrie dans les traitements de régénération de mangrove de l'Estuaire du Cameroun montre que tous les paramètres dendrométriques pris en compte (diamètre, hauteur, densité, surface terrière et volume) ont été plus représentatifs dans la régénération naturelle de mangrove (Tiko) par rapport à la plantation de mangrove (Mbiako). Ceci amène à conclure que l'âge, l'écartement entre les plants et les perturbations anthropiques peuvent influencer la productivité d'un site de régénération de mangrove. Les mesures des propriétés de l'eau montrent que la proximité d'un site de mangrove de la zone urbaine

déterminera son degré de pollution en éléments minéraux. D'autre part, les analyses physico-chimiques des échantillons de sol en laboratoire montrent que les sols des deux sites de mangrove en régénération font partie de la catégorie des sols organiques hyper acides. Mais on peut conclure à une faible minéralisation dans les deux sites car les teneurs des sols en azote, en phosphore, en sodium et en potassium se sont avérées faibles. L'analyse de corrélation de Pearson permet de suggérer, pour garantir le succès des initiatives de régénération de mangroves, des valeurs de turbidité, de salinité, de conductivité électrique et de solides totaux dissouts les plus faibles possible car négativement corrélés aux paramètres dendrométriques mais des valeurs de résistivité les plus élevées. Les teneurs du sol en bases échangeables (K et Na) et de pH devraient être élevées pour K et moyennes pour Na car positivement corrélés aux paramètres dendrométriques. Mais les macroéléments du sol (N et P) devraient être à des proportions moyennes ou faibles de préférence. Ayant déterminé l'influence de quelques éléments de l'eau et du sol comme des moteurs non seulement pour l'établissement des jeunes mangroves mais aussi pour développer des technologies pour une croissance effective et persistante de celles-ci, des études similaires doivent être encouragées dans d'autres sites de régénération de mangrove et sur d'autres facteurs de croissance.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent que le présent article ne fait l'objet d'aucun conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Les auteurs ci-dessous ont participé de diverses manières à la conception de cet article. RDTF est l'investigateur principal. Il a effectué les travaux d'inventaire des mangroves, les analyses physico-chimiques, les analyses statistiques des données et a rédigé le mémoire duquel est extrait cet article. GNA a orienté,

supervisé les travaux de terrain et facilité l'obtention du soutien logistique. MNT a contribué activement à la lecture et à la correction du mémoire et de ce manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs remerciements à l'ONG CWCS pour les soutiens logistique et financier fournis. Ils remercient également le personnel du LABASCE de la Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles de l'Université de Dschang pour son appui technique lors de l'analyse des échantillons de sol.

REFERENCES

- Ajonina GN, Aya FA, Diame A, Armah AK, Camara S, Amegankpoe C, Kaya P. 2016. Overview of Experience of Mangrove Reforestation in West and Central Africa. 38th Annual Conference of the Forestry Association of Nigeria (FAN), Port Harcourt- Nigeria, p. 934.
- Ajonina GN, Kairo J, Grimsditch G, Sembres T, Chuyong G, Diyouke E. 2014. Assessment of Mangrove Carbon Stocks in Cameroon, Gabon, the Republic of Congo (RoC) and the Democratic Republic of Congo (DRC) Including their Potential for Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation (REDD+). In *The Land/Ocean Interactions in the Coastal Zone of West and Central Africa Estuaries of the World*, Diop S, Barusseau J-P, Descamps CYR (eds). Springer: Germany; 177-189.
- Ajonina GN. 2008. Inventory and modeling mangrove forest stands dynamics following different levels of wood exploitation pressures in the Douala-Edea Atlantic coast of Cameroon, Ph.D. Thesis, University of Freiburg, Freiburg – Germany, 232 p.
- Boyer J. 1970. *Essais de Synthèse des Connaissances Acquisées sur les Facteurs de Fertilité des Sols en Afrique Intertropicale Francophone*. ORSTOM: Paris.
- Chaudhari S, Pachpande MP. 2015. Natural carbon sequestration by dominant mangrove species *Avicennia marina* Var. *Accutissima* Ex Staf and Moldenke Ex Moldenke found across Thane Creek, Maharashtra, India. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 6(2): 1162-1165. <http://www.ijser.org>
- CRAAQ (Centre de Référence en Aquaculture et Agroalimentaire du Québec). 2006. La mobilité du phosphore : revue de littérature. CRAAQ, Québec.
- Decoopman B, Hanocq, Heddadj D. 2013. La matière organique. In *Tout ce Que Vous Avez Toujours Voulu Savoir sur les Sols*, Decoopman B, Hanocq D, Heddadj D (eds). Chambres d'Agriculture de Bretagne : Grande Bretagne; 21-33.
- Din N, Saenger P, Priso RJ, Dibong DS, Blasco F. 2008. Logging activities in mangrove forests: A case study of Douala Cameroon. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 2(2): 22-30.
- Donfack SL. 2016. Evaluation floristique, structurelle et dynamique des traitements de régénération communautaire dans le paysage de mangrove Douala-Edéa. Mémoire de fin d'étude d'ingénieur de conception des Eaux, Foret et Chasse, Université de Dschang, Cameroun, 92 p.
- Etame J. 2004. Nephelinit rock weathering in the Etinde mount (Cameroon). Ph.D Thesis, University of Yaoundé I, Yaoundé-Cameroon, 221 p.
- Etame P. 2012. Caractérisation et évaluation du carbone séquestré des jeunes plantations de mangrove reboisées dans les zones périurbaines de Douala, Région du Littoral- Cameroun. Mémoire de Master, Université de Douala, Cameroun, 65 p.
- Farooqui A, Ranjana, Joshi Y. 2016. Low Na/K ratio in the leaves of mangroves mitigates

- salinity stress in estuarine ecosystem. *Tropical Plant Research*, **3**(1): 78–86.
- Giri C, Ochieng E, Tieszeng L, Zhu Z, Singh A, Loveland T, Masek J, Duke N. 2010. Status and Distribution of Mangrove Forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, **20**(1): 154- 159. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- Hossain MD, Nuruddin AA. 2016. Soil and Mangrove: A review. *J. Environ. Sci. Technol.*, **9**: 198-207. DOI: 10.3923/jest.2016.198.207
- LCA (Laboratoire de Conseil et d'Analyse). 2008. Guide pratique : comprendre et utiliser les analyses agro-environnementales. LCA, Bordeaux.
- MINEPDED (Ministère de l'Environnement, de la Protection de la nature et du Développement Durable) et ENVI-REP (Environment and Resource Protection), 2010. Etudes préliminaires de la deuxième phase du projet de conservation et de gestion participative des écosystèmes de mangrove au Cameroun. Rapport final, MINEPDED, 125 p.
- Mouningo EJH, Ajonina GN, Diyouké ME. 2015. Mangrove Social and Ecological resilience geared in the Cameroon Estuary. *Pyrex Journal of Ecology and the Natural Environment*, **1**(4): 037-044.
- Ngueye I. 2013. Application de la télédétection aérospatiale pour l'évaluation de la dégradation des ressources naturelles : cas des sols de la région de Kaolack située dans le Bassin arachidier du Sénégal. Mémoire de Master, Université Cheikh Anta Diop, Dakar.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2002. Oil Spills in Mangroves: Planning and Response Considerations. NOAA, Office of Response and Restoration report, Maryland.
- Pansu M, Gauthierou J. 2003. *L'Analyse du Sol Minéralogique, Organique et Minérale*. Spinger- Verlag : Montpellier.
- Ranaivoson J. 2001. Etude du schéma d'aménagement de l'aquaculture de crevettes à Madagascar. Phase I : Cas des zones 1, 4. Madagascar, Ministère de la pêche et des ressources halieutiques. Rapport de l'Union européenne, Paris.
- RCM (Réseau Camerounais des Mangroves). 2015. Les Mangroves. *Matanda News*, **9**(1): 13.
- Spalding M, Kainuma M, Collins L. 2010. *World Atlas of Mangroves*. Earthscan: London.
- Thongtham N, Kristensen E. 2003. Physical and chemical characteristics of mangrove crab (*Neopisesarma versicolor*) burrows in the Bangrong mangrove forest, Phuket, Thailand; with emphasis on behavioural response to changing environmental conditions. *Vie et Milieu*, **53**(4): 141-151.
- UNDP, GEF, UNESCO, IOC. 2009. Atelier régional de formation sur les techniques de restauration de la mangrove. UNDP, Rapport final, 20 p.
- UNEP-WCMC. 2007. The Mangroves of West-Central Africa. UNEP Report, 92 p.