

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix – Travail – Patrie

UNIVERSITE DE YAOUNDE I
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE ET DE
PHYSIOLOGIE VEGETALES



REPUBLIC OF CAMEROUN

Peace – Work – Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I
FACULTY OF SCIENCES
DEPARTMENT OF PLANT BIOLOGY

**DYNAMIQUE DU CARBONE DANS LES
COMMUNAUTES MARECAGEUSES A CYPERUS
PAPYRUS L. (CYPERACEAE) DE LA VILLE DE
YAOUNDE ET SES ENVIRONS**

Docteur / Ph.D.
en Biologie des Organismes Végétaux

Par :

KONO Léon Dieudonné
DEA en Botanique

Sous la direction
MBARGA BINDZI Alain
Chargé de Cours

Année Académique
2014-2015





AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire de Yaoundé I. Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : biblio.centrale.uyi@gmail.com

WARNING

This document is the fruit of an intense hard work defended and accepted before a jury and made available to the entire University of Yaounde I community. All intellectual property rights are reserved to the author. This implies proper citation and referencing when using this document.

On the other hand, any unlawful act, plagiarism, unauthorized duplication will lead to Penal pursuits.

Contact: biblio.centrale.uyi@gmail.com

DEDICACE

Je dédie cette thèse à toute la famille Mbarga Basile et à tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidé à faire aboutir ce travail.

REMERCIEMENTS

Le présent travail est le fruit d'une longue chaîne de sacrifices, de courage et de privations. Il n'aurait pas abouti sans le concours de nombreuses personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation. C'est avec une profonde gratitude que je les remercie.

Je tiens particulièrement à exprimer mes sincères remerciements au Pr. YOUMBI Emmanuel, Chef de Département de Biologie et Physiologie Végétales, pour sa grande disponibilité (« il veut toujours connaître l'état de santé académique de tous ses étudiants»), ses conseils et son soutien multiforme.

J'exprime ma profonde gratitude au Pr. BILONG Paul, Doyen de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I pour avoir programmé la soutenance de ces travaux de recherches.

Je profite de cette tribune pour rendre un vibrant hommage au très regretté Pr. AMOUGOU AKOA Cir Pierre, qui avait accepté d'assurer la supervision de ce travail, mais qui malheureusement nous a tragiquement quitté alors que je n'étais qu'à mi-parcours de ce travail. Qu'il trouve ici l'aboutissement de son soutien sans relâche. Paix à son âme.

J'exprime ma profonde gratitude au Dr. MBARGA BINDZI, Chargé de Cours, initiateur et Directeur de cette thèse de Doctorat. Sa confiance, ses précieux conseils, et son assistance même pour des raisons privées, m'ont permis de surmonter bien des situations délicates. Il m'a appris les techniques de collecte et de traitement des données floristiques et édaphiques. Par ses critiques avisées et son sens aigu de la synthèse, il aura permis la réalisation de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma confiance renouvelée.

Ma gratitude va aussi et surtout au Pr. BELL Joseph Martin qui m'a redonné un regain d'espoir en acceptant sans hésitation de continuer la supervision de ce travail de recherches. Il n'a cessé de m'encourager dans cette nouvelle problématique liée au fonctionnement carboné des zones marécageuses de Yaoundé en général.

Prs. YOUMBI Emmanuel, BITOM Dieudonné, NDONGO DIN et BELL Joseph Martin ainsi que Dr. MBARGA BINDZI Alain ont accepté la fastidieuse tâche de juger ce travail en dépit de leurs multiples occupations, qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Des remerciements s'adressent également aux Prs. NKONMENECK Bernard Aloys, AMBANG Zachée et ZAPFACK Louis, avec qui les échanges d'idées ont toujours été fructueux. Ils m'ont toujours encouragé dans la rédaction de cette thèse.

Ma gratitude va aussi au Dr. MBOLO Marie pour ses conseils, ses observations, sa gentillesse et son sourire intarissable. Ses commentaires, encouragements à la rédaction de ce document ou à la lecture attentive d'un ou plusieurs chapitres de cette dissertation, ont très obligeamment amélioré la qualité de ce travail.

Au Pr. KENGNE Yves Magloire (MC) de l'Université de Yaoundé I, j'exprime ma reconnaissance pour l'intérêt qu'il a manifesté pour mon travail, ses remarques et suggestions tant sur le travail de terrain que sur la rédaction de cette thèse m'ont été précieuses et ma gratitude lui est acquise.

Je n'oublierai pas de remercier les Prs. DJOCGOUE Pierre François, MOSSEBO Dominique et NWAGA Dieudonné, les Drs. NGABA ZOGO Félix, TSOATA Esaie, BOYOMO ONANA, NSOM Annie et ESSONO OBOUGOU Germain Gabriel. Ils ont manifesté beaucoup de sympathie et de disponibilité tout au long de mes travaux, en m'encourageant à finaliser la rédaction de la présente thèse.

J'exprime toute ma gratitude en particulier au Dr. ONANA Michel, Directeur de l'Herbier National du Cameroun, pour sa contribution lors de la confirmation des déterminations et pour ses observations sur le fond de ce travail depuis le DEA.

Un grand merci aux Drs. BIYE Elvire Hortense, ANGONI Hyacinthe, NGODO MELINGUI Jean Baptiste et AMOUGOU Joseph Armathé (Département de Géographie) pour leurs conseils, corrections et remarques toujours pertinentes sur mon travail (rédaction de la thèse et des articles). Vos conseils et les longues discussions que j'ai souvent eues avec vous sur ce travail n'ont pu que concourir à son amélioration.

Je suis très reconnaissant au Pr. FOMENA Abraham et au Dr. KEKENOU Sévior, du Département de Biologie et Physiologie Animales, pour leur soutien dans le cadre de mes campagnes de terrain et leurs conseils pendant la réalisation de cette thèse.

Je remercie sincèrement tous les enseignants du Département de Biologie et Physiologie Végétales, et particulièrement ceux ayant intervenu à l'Ecole Doctorale durant l'année académique 2010-2011. Dans une synergie sans égale, vous avez su vous relayer à

nos côtés pour nous transmettre vos précieuses connaissances tout au long de ces années et nous avons bénéficié sans restriction aucune de vos chaleureuses qualités humaines.

Je tiens à remercier du fond du cœur le personnel du Laboratoire d'Analyse des Sols de l'IITA, à travers le Dr. SONWA Denis et Madame N'DANGO Rose, qui ont permis d'effectuer des analyses des échantillons de sols de marécages. Dans le même ordre d'idées, je remercie infiniment Drs. EWODO Guillaume et ONANA Vincent pour m'avoir appris les techniques de prélèvement de sol, la partie géochimique de ce travail leur doit beaucoup.

Je remercie tout particulièrement Messieurs NLEND NLEND Pascal Roger et ONDAFE MATOCK Paul Ernest, respectivement gestionnaires des bibliothèques de l'IRD et du Giz, pour m'avoir autorisé à faire la revue documentaire dans de très bonnes conditions.

J'exprime aussi ma reconnaissance à l'endroit de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) de Yaoundé, tant à son personnel qu'à son Directeur, Monsieur ONDOUA Alain qui m'a généreusement permis d'effectuer la revue de la littérature dans sa structure. Je n'oublie pas Monsieur KEGNE Roger pour ses conseils et encouragements.

Messieurs AMOUGOU NDI Achille, ANABA Bienvenu Désiré, BELINGA BANA Jean Paul, BIMI Ernest, ENDANGA Guy Hervé, MEYONG Arthur, ESSONO Damien, KONO Maurice, MEHINA MBARGA Christian, NGANSO Eric et ZENGUE Danielle ont arpenté les marécages avec moi pendant plusieurs mois et m'ont fait partager leur expérience du terrain. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Dans le même ordre d'idées, un hommage au regretté YENE MBARGA Ambroise Gustave, paix à son âme, qui m'a toujours donné des conseils mais qui malheureusement nous a quitté en 2008 des suites de maladie.

Je tiens à remercier tous les thésards que j'ai eu l'occasion de côtoyer dans les différents laboratoires de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I ; pour l'ambiance fort sympathique et surtout pour le transfert d'expériences scientifiques au cours des différentes manipulations effectuées dans les laboratoires.

Mes remerciements vont aussi à mes camarades thésards de l'école doctorale ; BEVAH Heleine, ENDANGA David Hervé, GODSWILL NTSOMBOH NTSEFONG, KAMENI TCHAKOUA Dominique W., KENGNE Olivier Clovis, KENGNI MOUAFFO AYISSI Beaudelaire, MAGWE SINDJEU Jacqueline, MBARGA Joseph Bienvenu (décédé

en juin 2014 ; paix à son âme), MBOGNE TABOULA Judith, NGOH DOOH Jules et NSIMI MVA'A Armand, pour leur sympathie et collaboration durant l'année académique 2010/2011. Je n'oublie pas tous les autres car la liste ne s'aurait être exhaustive.

Je réserve une place à part à toute ma famille pour sa contribution multiforme et inestimable. Je pense tout particulièrement à ma chère grand-mère NDA Cathérine et à ma mère ENYEGUE Thérèse. Je n'oublie pas mes frères et sœurs MBARGA Basile Patrice, KONO Maurice, ZOUA Jean Claude, NGAZOA Paul Levis, MEHINA MBARGA Christian, NGOUMOU Jean et NDA Cathérine Aurelie. Ma pensée se tourne aussi vers ma fiancée MENGUE Gaelle Florence qui m'a appris la persévérance et surtout le souci de toujours mener à bien toute œuvre entreprise. Quant à KONO-ENYEGUE Clémenty mon fils, je tiens à t'exprimer ma plus vive gratitude, car ta naissance m'a encore permis de doubler l'intensité de la rédaction de cette thèse de Doctorat.

De nombreuses autres personnes ont énormément contribué à l'aboutissement de ce travail. Nous savons que nous avons oublié trop de noms et nous demandons dès à présent leur indulgence pour cette faiblesse. Que ces nombreuses personnes trouvent cependant ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Table des matières

LISTE DES ENSEIGNANTS PERMANENTS DE LA FACULTE DES SCIENCES	i
DEDICACE.....	xvi
REMERCIEMENTS.....	xvii
LISTE DES ABREVIATIONS / ACRONYMES	xxiv
LISTE DES TABLEAUX	xxvi
LISTE DES FIGURES.....	xxviii
LISTE DES ANNEXES	xxxii
RESUME.....	xxxiii
ABSTRACT.....	xxxiv
CHAPITRE I. GENERALITES	1
I-1- INTRODUCTION GENERALE	2
I-1-1- CONTEXTE DE L'ETUDE	2
I-1-2- PROBLEMATIQUE.....	4
I-1-3- OBJECTIFS DE L'ETUDE	6
I-1-3-1- Objectif général	6
I-1-3-2- Objectifs spécifiques.....	6
I-2- HYPOTHESES DE TRAVAIL.....	6
I-3- PLAN DU DOCUMENT	7
I-4- REVUE DE LA LITTERATURE.....	7
I-4-1- DEFINITION DES CONCEPTS	7
I-4-2- CYCLE DU CARBONE	10
I-4-3- PROBLEMATIQUE DES GAZ A EFFET DE SERRE	11
I-4-3-1- Définition	11
I-4-3-2- Typologie de gaz à effet de serre	12
I-4-4- RESERVOIRS PLANETAIRES DE CARBONE	14
I-4-4-1- Atmosphère.....	14
I-4-4-2- Biosphère terrestre	14
I-4-4-3- Biomasse végétale.....	15
I-4-4-4- Hydrosphère.....	15
I-4-4-5- Lithosphère	16
I-4-5- ETAT DES CONNAISSANCES SUR LES STOCKS DE CARBONE DES FORETS DU BASSIN DU CONGO ET AU CAMEROUN.....	16
I-4-6- GENERALITES SUR LES ZONES HUMIDES.....	18
I-4-6-1- Définitions	18
I-4-6-2- Situation géographique et répartition.....	20
I-4-6-3- Typologie des zones humides et leurs spécificités écologiques	22
I-4-6-4- Convention de Ramsar et la conservation des zones humides.....	24
I-4-6-5- Utilités des zones humides.....	25
I-4-7- CARACTERISTIQUES ET INTERETS DES SITES.....	27
I-4-7-1- Marécages à <i>C. papyrus</i> de Yaoundé.....	27
I-4-7-2- Autres types de marécages.....	32
I-4-8- CARACTERISTIQUES ECOLOGIQUES DU GENRE <i>Cyperus</i>	34

I-4-9- GENERALITES SUR <i>Cyperus papyrus</i>	35
I-4-9-1- Position taxonomique	35
I-4-9-2- Appareil végétatif	36
I-4-9-3- Distribution géographique et écologie	36
I-4-9-4- Intérêt socio-économique de <i>C. papyrus</i>	38
I-4-9-5- Effets écologiques de <i>C. papyrus</i>	38
I-4-10- MILIEU PHYSIQUE.....	42
I-4-10-1- Facteurs climatiques	42
I-4-10-2- Insolation	44
I-4-10-3- Hydrographie	45
I-4-10-4- Sols de la région de Yaoundé	45
I-4-10-5- Couverture végétale la région de Yaoundé.....	46
I-4-10-6- Anthropisation dans la ville de Yaoundé et ses environs.....	48
CHAPITRE II.MATERIEL ET METHODES.....	50
II-1-MILIEU D’ETUDE ET CHOIX DES SITES	51
II-2- ECHANTILLONNAGE ET INVENTAIRE	51
II-2-1- Méthode du transect.....	51
II-2-2- Inventaire floristique.....	53
II-3- DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	55
II-3-1- Etude structurale de la population de <i>C. papyrus</i>	55
II-3-2- Suivi de la dynamique et taux de disparition des tiges	56
II-3-3- Suivi de la phénologie florale	57
II-4- QUANTIFICATION DES STOCKS DE C DANS LES PLANTES	57
II-4-1- Stocks de carbone de <i>C. papyrus</i>	57
II-4-2- Stocks de carbone des autres taxa.....	58
II-5- ESTIMATION DES FLUX DE LITIERE AU SOL.....	60
II-6- ESTIMATION DU STOCK DE CARBONE DU SOL	60
II-7- ETUDE DES FACTEURS BIOPHYSIQUES.....	62
II-7-1- Facteurs abiotiques	63
II-7-2- Facteurs biométriques	65
II-7-3- Influence anthropique	65
II-8- RECOLTE ET MINERALISATION DES ECHANTILLONS DES PLANTES	66
II-9- ETUDE DES VARIATIONS SAISONNIERES DU CARBONE ORGANIQUE.....	67
II-10- ANALYSE DES DONNEES ET LOGICIELS UTILISES	68
II-10-1- Analyse de la diversité spécifique	68
II-10-2- Caractéristiques floristiques des marécages.....	69
II-10-3- Méthodes de comparaison des moyennes	72
II-10-4- Régression linéaire simple et multiple.....	72
II-10-5- Analyse en composantes principales	73
CHAPITRE III.RESULTATS ET DISCUSSION.....	75
III-1- RESULTATS.....	76
III-1-1- CARACTERISTIQUES FLORISTIQUES DES MARECAGES	76
III-1-1-1- Analyse floristique	76
III-1-1-2- Analyse des types biologiques	78
III-1-1-3- Analyse des types phytogéographiques.....	79
III-1-1-4- Analyse des types de diaspores	81

III-1-1-5- Analyse des types foliaires.....	81
III-1-2- CARACTERISTIQUES STRUCTURALES DE <i>C. papyrus</i>	82
III-1-2-1- Densité	82
III-1-2-2- Diamètre.....	83
III-1-2-3- Surface terrière	84
III-1-3- DYNAMIQUE DE <i>C. papyrus</i>.....	85
III-1-3-1- Variation mensuelle du nombre de rejets.....	85
III-1-3-2- Facteurs abiotiques favorables à la dynamique de <i>C. papyrus</i>	87
III-1-3-3- Disparition des tiges de <i>C. papyrus</i>	89
III-1-4- PHENOLOGIE FLORALE DE <i>C. papyrus</i>	89
III-1-4-1- Evolution de la floraison	89
III-1-4-2- Variations intra et inter-biotopes.....	91
III-1-4-3- Floraison de <i>C. papyrus</i> en relation avec les caractéristiques édaphiques	93
III-1-4-4- Analyse en composantes principales des individus fleuris ou non de Yaoundé	95
III-1-4-5- Etude comparative de la floraison de <i>C. papyrus</i>	96
III-1-5- FONCTION DE PUIITS DE CARBONE DES MARECAGES A <i>C. papyrus</i>.....	99
III-1-5-1- STOCKS DE MATIERE ORGANIQUE CARBONEE	99
III-1-5-2- ETUDE COMPARATIVE DES STOCKS DE MOC DES DIFFERENTS TYPES DE COMMUNAUTES MARECAGEUSES.....	102
III-1-5-3- DYNAMIQUE DU CARBONE DANS LES MARECAGES	104
III-1-5-4- STOCKS DE CARBONE DU SOL.....	117
III-1-5-5- VARIABILITE SPATIO - TEMPORELLE DU STOCK DE CARBONE	121
III-1-5-6- CORRELATION ENTRE LES DIFFERENTES VARIABLES ET CARACTERISATION DES SITES	127
III-1-5-7- STOCK TOTAL DU CARBONE DANS LES DIFFERENTS TYPES DE MARECAGES DE YAOUNDE	130
III-2- DISCUSSION	134
III-2-1- CARACTERISTIQUES FLORISTIQUES DES MARECAGES	134
III-2-2- CARACTERISTIQUES STRUCTURALES ET DYNAMIQUE.....	136
III-2-3- SUIVI DE LA FLORAISON DE <i>C. papyrus</i>	137
III-2-4- STOCKS DE MATIERE ORGANIQUE CARBONEE.....	139
III-2-5- TENEURS ET STOCKS EN CARBONE DES SOLS.....	142
CHAPITRE IV.CONCLUSION, PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS	148
IV-1- CONCLUSION.....	149
IV-2- PERSPECTIVES.....	152
IV-3- RECOMMANDATIONS.....	152
BIBLIOGRAPHIE	154
ANNEXES.....	175

LISTE DES ABREVIATIONS / ACRONYMES

ACP :	Analyse en Composantes Principales
ASB :	Alternatives to Slash and Burn
BOR:	Bordures
C:	Carbone
CIME:	Consutants and Intermediaries in Mining, Energy and Environment
cm :	centimètre
cm ³ :	centimètre cube
CO :	carbone organique
CO ₂ :	Dioxyde de Carbone
g :	gramme
GES :	Gaz à Effet de Serre
GgE :	Gigagramme équivalent
Giz	Coopération allemande pour le développement
Gtc :	Gigatonne de carbone
ha :	hectare
IITA:	International Instituate of Tropical Agriculture
IPCC:	International Panel of Climate Change
IRD :	Institut de Recherche pour le Développement
kg:	kilogramme
m :	mètre
m ² :	mètre carré
mg :	milligramme
MO :	Matière organique
MOC :	Matière organique carbonée
ppmv :	partie par million en volume
ppbv :	partie par milliard en volume ;

RAMSAR : Ville d'Iran, lieu de la signature de la Convention sur les zones humides

RCA : République Centrafricaine

RDC : République Démocratique du Congo

REDD : Réduction des Emissions liées à la Déforestation et la Dégradation des Forêts

RubisCO : Ribulose -1, 5- bisphosphate carboxylase-oxygénase

t : tonne

t C : tonne de Carbone

TP : Types Phytogéographiques

TB : Types Biologiques

TD : Types de Diaspores

TF : Types Foliaires

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

ZPH : Zones en Permanence Humides

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I	Concentration dans l'atmosphère des gaz à effet de serre d'origine anthropique	12
Tableau II	Estimations par pays du stock de carbone total dans le bassin du Congo	18
Tableau III	Répartition des zones humides mondiales selon la zone climatique	21
Tableau IV	Estimation des surfaces couvertes par les zones humides dans les différents pays du bassin du Congo	22
Tableau V	Types de zones humides planétaires et leurs caractéristiques écologiques	24
Tableau VI	Topographie, anthropisation et quelques caractéristiques écologiques des sites étudiés	31
Tableau VII.	Listes des espèces caractéristiques et leur contribution au peuplement en BOR et dans les ZPH en fonction des sites	32
Tableau VIII	Principales caractéristiques morphologiques de <i>C. papyrus</i>	37
Tableau IX	Principaux rôles des macrophytes dans l'épuration des eaux usées	41
Tableau X	Répartition des précipitations mensuelles de la région de Yaoundé durant la période d'étude	43
Tableau XI	Répartition des moyennes de l'insolation à Yaoundé sur une période de 28 ans	44
Tableau XII	Répartition de l'insolation mensuelle à Yaoundé durant la période d'étude	45
Tableau XIII	Evolution de la densité de la population de Yaoundé de 1976 à 2005	49
Tableau XIV	Répartition du nombre de placettes dans les différents marécages retenus	53
Tableau XV	Coefficients de conversion utilisés pour la quantification des stocks de carbone dans les compartiments séquestrant le carbone	59
Tableau XVI	Échelle de mesure du degré d'hydromorphie de la vase	64
Tableau XVII	Fréquence saisonnière de prélèvement des sols dans les microhabitats marécageux à <i>C. papyrus</i> de Yaoundé	68
Tableau XVIII	Valeurs des indices au sein des différents types de parcelles délimitées dans les marécages à <i>C. papyrus</i> de Yaoundé	78
Tableau XIX	Types biologiques au sein des marécages à <i>C. papyrus</i> de Yaoundé	79
Tableau XX	Types phytogéographiques au sein des marécages à <i>C. papyrus</i> de Yaoundé	80
Tableau XXI	Types de diaspores au sein des marécages à <i>C. papyrus</i> de Yaoundé	81
Tableau XXII	Types foliaires au sein des marécages à <i>C. papyrus</i> de Yaoundé	82
Tableau XXIII	Taux de disparition annuelle (%) de <i>C. papyrus</i> dans les différents types de marécages de Yaoundé	89
Tableau XXIV	Caractéristiques physico-chimiques dans les marécages à <i>C. papyrus</i>	94

Tableau XXV	Teneur en éléments minéraux des individus de <i>C. papyrus</i> fleuris ou non dans les microhabitats marécageux	97
Tableau XXVI	Matrice de corrélation de Pearson entre les teneurs en éléments minéraux des individus de <i>C. papyrus</i> fleuris ou non dans les marécages	98
Tableau XXVII	Calendrier des différents stades de floraison de <i>C. papyrus</i> dans les marécages au cours de la période d'étude	98
Tableau XXVIII	Répartition des stocks de MOC annuels dans les principaux organes de <i>C. papyrus</i> pendant la période d'étude	102
Tableau XXIX	Teneur en azote total, carbone et matière organique et C/N selon les types de marécages	105
Tableau XXX	Distribution spatiale du carbone organique sur 0 – 30 et 30 – 60 cm dans les marécages	107
Tableau XXXI	Teneur moyenne en MOC des litières et stocks de carbone dans les différents types de marécage	113
Tableau XXXII	Teneurs en éléments granulométriques (%) des différents types de marécages à 0-30 et 30-60 cm de profondeur	120
Tableau XXXIII	Total des stocks de carbone au sol dans les différents types de marécages en fonction de la profondeur	121
Tableau XXXIV	Valeurs extrêmes et moyennes de la MOC dans la biomasse aérienne et souterraine de <i>C. papyrus</i> pour les trois années d'étude	125
Tableau XXXV	Contribution (%) des variables dans l'ACP dans les marécages à <i>C. papyrus</i>	128
Tableau XXXVI	Synthèse des valeurs moyennes des stocks de carbone dans la biomasse et le sol des différents types de placettes à <i>C. papyrus</i>	131
Tableau XXXVII	Facteurs écologiques discriminants en relation avec la réaction de <i>C. papyrus</i> et du sol	133

LISTE DES FIGURES

N°	TITRE DES FIGURES	
Fig.1.	Cycle global du carbone, focus sur l'Agriculture, la Foresterie et les autres gestions des terres	11
Fig.2.	Flux globaux de gaz à effet de serre en 2000	11
Fig. 3.	Répartition des émissions de gaz à effet de serre au Cameroun	14
Fig. 4.	Répartition mondiale par type des zones humides	21
Fig. 5	Productivité primaire nette en fonction des différents types d'écosystèmes dans le monde	27
Fig. 6.	Distribution des <i>Cyperaceae</i> entre la forêt et la savane (en Côte d'Ivoire)	35
Fig.7.	Différents organes de l'appareil végétatif de <i>C. papyrus</i> .	36
Fig. 8.	Aires de distribution naturelle de <i>C. papyrus</i> en Afrique	39
Fig. 9.	Courbe ombro-thermique de la région de Yaoundé et ses environs.	43
Fig.10.	Carte forestière du Cameroun	48
Fig.11.	Localisation des sites dans la ville de Yaoundé et ses environs.	54
Fig.12.	Délimitation d'une parcelle permanente de 10m x 5m dans les marécages à <i>C. papyrus</i> et disposition des placettes permanentes et occasionnelles.	56
Fig.13.	Délimitation d'une placette occasionnelle de 1m x 1m pour l'échantillonnage de la biomasse aérienne et souterraine de <i>C. papyrus</i> .	58
Fig.14.	Estimation de la biomasse sèche des organes aériens et souterrains de <i>C. papyrus</i> au laboratoire.	58
Fig.15.	Dispositif d'échantillonnage de la litière dans les marécages de Yaoundé et ses environs	60
Fig.16.	Procédé d'analyse des plantes	67
Fig. 17.	Richesse spécifique moyenne des différents marécages à <i>C. papyrus</i> de Yaoundé et ses environs.	77
Fig.18.	Proportions des familles dans les marécages à <i>C. papyrus</i> de Yaoundé et ses environs.	78
Fig.19.	Densité moyenne de <i>C. papyrus</i> au sein des différents sites.	83
Fig. 20.	Densité moyenne de <i>C. papyrus</i> en fonction du degré d'hydromorphie des placettes.	83

Fig. 21.	Structure des types de placettes considérées lors de la récolte de la biomasse dans les marécages	84
Fig. 22.	Surfaces terrières observées dans les marécages à <i>C. papyrus</i> .	85
Fig.23.	Evolution mensuelle du nombre de rejets de <i>C. papyrus</i> dans les marécages de Yaoundé au cours de la période d'étude.	86
Fig.24.	Proportions moyennes de régénération de <i>C. papyrus</i> dans les marécages de Yaoundé.	86
Fig. 25.	Evolution mensuelle du nombre moyen de rejets et d'individus fleuris de <i>C. papyrus</i> dans les marécages de Yaoundé pendant la période d'étude.	87
Fig.26.	Corrélation entre la proportion de rejets de <i>C. papyrus</i> et le degré d'hydromorphie des marécages de Yaoundé.	88
Fig.27.	Proportion de rejets de <i>C. papyrus</i> dans les marécages de Yaoundé en fonction des microhabitats dans les différents sites.	88
Fig.28.	Proportion moyenne des rejets de régénération en fonction des coupes de <i>C. papyrus</i> d'origine anthropique dans les marécages de Yaoundé	88
Fig.29.	Evolution mensuelle des précipitations et de la floraison de <i>C. papyrus</i> dans les marécages de Yaoundé au cours de la période d'étude	90
Fig.30.	Evolution mensuelle de l'insolation et de la floraison de <i>C. papyrus</i> dans les marécages de Yaoundé au cours de la période d'étude	91
Fig.31.	Influence du pH des eaux interstitielles des sédiments sur la floraison de <i>C. papyrus</i> dans les marécages de Yaoundé au cours de la période d'étude	91
Fig.32.	Proportion d'individus de <i>C. papyrus</i> fleuris dans les microhabitats des différents sites marécageux de Yaoundé.	92
Fig.33.	Evolution de la floraison de <i>C. papyrus</i> en relation avec le diamètre des individus dans les marécages de Yaoundé.	93
Fig.34.	Analyse en composantes principales des éléments minéraux et d'individus de <i>C. papyrus</i> fleuris ou non.	96
Fig.35.	Corrélation entre le taux de floraison de <i>C. papyrus</i> et le degré d'hydromorphie des marécages de Yaoundé.	98
Fig.36.	Répartition des stocks moyens de MOC de <i>C. papyrus</i> dans les différents marécages.	100
Fig.37.	Répartition des stocks moyens de MOC de <i>C. papyrus</i> dans les différents marécages.	100
Fig.38.	Stocks de MOC dans les différents types de placettes.	100
Fig. 39.	Proportions de stocks de MOC dans les principaux organes de <i>C. papyrus</i> .	102

Fig. 40.	Stocks moyens de MOC de <i>C. papyrus</i> en fonction du nombre de feuilles par ombelle.	103
Fig. 41.	Stocks moyens de MOC de <i>C. papyrus</i> en fonction du diamètre des tiges.	103
Fig. 42.	Stocks moyens de MOC de <i>C. papyrus</i> en fonction de la hauteur de la tige.	104
Fig. 43.	Stocks moyens de carbone de <i>C. papyrus</i> en fonction du diamètre des rhizomes.	104
Fig. 44.	Stocks de MOC des différents types de marécages de Yaoundé.	104
Fig. 45.	Relation entre le carbone organique et la matière organique dans les bordures et les zones en permanence humides pour 0-30 cm et 30-60 cm de profondeur dans les marécages à <i>C. papyrus</i> .	108
Fig. 46.	Relation entre le carbone organique et la matière organique dans les bordures et les zones en permanence humides pour 0-30 cm et 30-60 cm de profondeur dans les marécages à <i>Echinochloa pyramidalis</i> .	109
Fig. 47.	Relation entre le carbone organique et la matière organique dans les bordures et les zones en permanence humides à 0-30 cm et 30-60 cm de profondeur dans les marécages à <i>Cyrtosperma senegalense</i> et <i>Rhynchospora corymbosa</i> .	110
Fig.48.	Corrélation entre le carbone organique et l'azote dans les marécages à <i>C. papyrus</i> de Yaoundé en surface et en profondeur.	111
Fig. 49.	Relation entre le carbone organique et la teneur en argile dans les marécages à <i>C. papyrus</i> entre 0-30 cm de profondeur.	111
Fig.50.	Evolution moyenne mensuelle de la litière dans les marécages de Yaoundé pendant la période d'observations.	113
Fig. 51.	Influence de la profondeur de la vase sur les stocks de carbone dans les bordures et zones en permanence humides des marécages à <i>C. papyrus</i> de Yaoundé.	113
Fig.52.	Répartition spatiale du stock moyen de MOC aérienne et souterraine en fonction de la source de pollution dans les marécages de Yaoundé.	116
Fig.53.	Répartition du stock moyen de carbone du sol (tout horizon confondu) en différents points des marécages selon leur distance par rapport à l'entrée des effluents dans les sites.	116
Fig.54.	Valeurs de densité apparente du sol pour 0-30 cm et 30-60 cm dans les différents types de marécage.	117
Fig.55.	Répartition des stocks de carbone à 0-30 cm et 30-60 cm de profondeur du sol dans les différents types de marécage.	119
Fig.56.	Stocks moyens de carbone du sol à 0-30 et 30-60 cm de profondeur dans les microhabitats des différents marécages.	119

Fig.57.	Variations saisonnières des stocks de MOC dans la biomasse de <i>C. papyrus</i> pendant la période d'étude	122
Fig.58.	Variations saisonnières des stocks de carbone dans les bordures et zones en permanence humides entre 0-30 cm de profondeur en fonction des sites dans les marécages à <i>C. papyrus</i> pendant la période d'étude	123
Fig.59.	Evolution des stocks moyens de carbone dans les marécages à <i>C. papyrus</i> au cours de la période d'étude.	126
Fig. 60.	Analyse en composantes principales des stocks de carbone dans les différents compartiments séquestrants et les variables environnementales et biotiques les influençant.	129
Fig.61.	Analyse en composantes principales des microhabitats des marécages à <i>C. papyrus</i> au cours de la période d'étude	130
Fig. 62.	Allocation du carbone dans les différents compartiments de chaque type de marécages dans la ville de Yaoundé et ses environs.	131
Fig. 63.	Stocks de carbone dans l'ensemble des sites des marécages à <i>C. papyrus</i> .	132

LISTE DES ANNEXES

Annexes 1.	Liste taxonomique des placettes faiblement recouvertes par <i>C. papyrus</i> dans les marécages de Yaoundé	175
Annexes 2.	Liste taxonomique des placettes moyennement recouvertes par <i>C. papyrus</i> dans les marécages de Yaoundé	177
Annexes 3.	Liste taxonomique des placettes entièrement recouvertes par <i>C. papyrus</i> dans les marécages de Yaoundé	178
Annexes 4.	Fiche du suivi de la phénologie de la floraison de <i>C. papyrus</i>	179
Annexes 5.	Vue générale de quelques sites d'étude de Yaoundé	180
Annexes 5.1.	Marécages à <i>C. papyrus</i> (<i>Cyperaceae</i>) : site de l'Etang de la Retenue 1	180
Annexe 5.2.	Marécages à <i>Echinochloa pyramidalis</i> (<i>Poaceae</i>) : site de Coron	180
Annexe 5.3.	Marécages à <i>Cyrtosperma senegalense</i> (<i>Araceae</i>) et <i>Rhynchospora corymbosa</i> (<i>Cyperaceae</i>) : site d'Odza borne 10	181
Annexe 5.4.	Peuplements à <i>Rhynchospora corymbosa</i> (<i>Cyperaceae</i>) (A) et à <i>Cyrtosperma senegalense</i> (<i>Araceae</i>) (B) : site de Messa-Assi (A) ; site de Nkolnkié (B)	181
Annexe 5.5.	Densité apparente sèche moyenne des types de marécages de la ville de Yaoundé et ses environs	182
Annexe 6 :	Emplacements des différents microhabitats dans un marécage	182
Annexe 7 :	Répartition du nombre des placettes et transects entre les différents sites	183
Annexe 8 :	Répartition des échantillons de sol pendant la période d'étude	183

RESUME

Cyperus papyrus L. est une *Cyperaceae* rencontrée au Cameroun et qui occupe une aire de répartition restreinte aux zones humides de Yaoundé. Dans les zones marécageuses de l'Etang de la Retenue, du Lac Municipal et de Mvan-Ahala, cette espèce se rencontre en peuplements presque monospécifiques. Elle est d'une grande importance écologique, mais sa dynamique naturelle est peu connue, notamment pour ce qui concerne sa régénération, sa phénologie et sa production de matière organique carbonée. Ce travail a pour objectif d'étudier l'influence des facteurs du milieu sur la dynamique du carbone dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* de la ville de Yaoundé et ses environs, à travers des observations réalisées dans différents microhabitats marécageux au cours de trois années successives (de juillet 2007 à juillet 2010).

En effet, suivant les microhabitats des différents marécages, un échantillonnage stratifié consistant à délimiter, dans les sites, des placettes de 10 m x 5 m, installées sur les bordures et les zones en permanence humides a été adopté. Au sein de ces placettes, les relevés floristiques, le suivi de la régénération et de la phénologie florale de *C. papyrus* ont été effectués. La méthode destructive de la biomasse aérienne et souterraine a été utilisée pour quantifier les stocks de carbone de *C. papyrus*, ainsi que ceux de plantes herbacées récoltées dans des marécages pauvres en *C. papyrus*. La détermination du stock de carbone dans les sols (pour 0-30 et 30-60 cm de profondeur) a été effectuée.

Les résultats obtenus montrent que la flore des communautés marécageuses à *C. papyrus* est constituée de 47 espèces végétales. Le suivi de la dynamique montre que *C. papyrus* se localise surtout dans les zones en permanence humides où la régénération végétative est remarquable. Cette espèce a également des affinités avec les milieux fortement anthropisés, sur sol humide et peu acide. Toutefois, il faut préciser qu'une des caractéristiques essentielles de la dynamique de régénération de *C. papyrus* dans les marécages de la ville de Yaoundé et ses environs est sa dépendance vis-à-vis de la réserve hydrique du sol. Le suivi de la phénologie florale a montré que la floraison de *C. papyrus* se déroule essentiellement en saison sèche. L'espèce semble suivre ainsi un cycle à caractère tropical. La précocité révélée pour le peuplement de l'Etang de la Retenue par rapport à celui des autres sites peut s'expliquer par des différences au niveau des caractéristiques édaphiques.

Du point de vue biomasse, les communautés marécageuses à *C. papyrus* ($1,01 \pm 0,34$ kg MOC / m²) présentent des stocks de carbone plus élevés en comparaison avec les marécages à *Cyrtosperma senegalense* et *Rhynchospora corymbosa* ($0,034 \pm 0,01$ kg MOC / m²), ainsi qu'avec les marécages à *Echinochloa pyramidalis* ($0,026 \pm 0,00$ kg MOC / m²). Les stocks de carbone du sol montrent aussi des valeurs plus élevées dans les marécages à *C. papyrus* ($66,25$ kg/m²). Au niveau des bordures, comparativement aux zones en permanence humides, les stocks de carbone sont plus faibles quel que soit le site considéré.

Globalement, dans les marécages à *C. papyrus* l'allocation de carbone est destinée au sol avec, 90,18 % de carbone ; la litière et les compartiments aériens et souterrains fixant respectivement 0,19 %, 4,06 % et 5,57 %. Outre les caractéristiques biométriques, certains déterminants écologiques influencent fortement ces stocks de carbone: l'hydromorphie, la profondeur de la vase, le pH, la texture argileuse et, dans une moindre mesure, la pollution du milieu.

Mots clés : Dynamique ; marécages ; *C. papyrus* ; Stocks de carbone ; Yaoundé.

ABSTRACT

Cyperus papyrus L. is a *Cyperaceae* found all over Cameroon and is specifically restricted in wetlands of Yaounde. The species occurs in monospecific stand in Etang de la Retenue, Lac Municipal and Mvan-Ahala. It is of great ecological importance but knowledge of its natural dynamics on permanently flooded zones is limited. This work aims to study the influence of environmental factors on carbon dynamics in swampy *C. papyrus* communities in Yaounde and its vicinities, through observations made in different wetlands microhabitats for three consecutive years from July 2007 to July 2010.

Based on the microhabitats of the various wetlands, stratified sampling of delineated sites consisted of establishing plots of 10 m x 5 m, at the borders and on permanently wet areas. In these plots, the floristic surveys, monitoring of regeneration and floral phenology of *C. papyrus* were investigated. Destructive method of above and belowground biomass was used to quantify the carbon stocks of *C. papyrus*, as well as those of herbaceous plants harvested in swamps that were poor in *C. papyrus*. The evaluation of carbon stocks in soils (0-30 and 30-60 cm) was also undertaken.

Forty-seven species of plants were identified in the swamps with *C. papyrus*. The results on monitoring the population dynamics indicated that *C. papyrus* concentrates mostly in permanently wet areas where vegetative regeneration is remarkable. This species also had affinities with highly anthropic environments, wet and slightly acidic soil. However, it should be noted that one of the essential characteristics of the regeneration dynamics of *C. papyrus* swamps in and around Yaounde is its dependence with regard to soil water. During the monitoring the floral phenology of *C. papyrus*, it was observed that the species flowers mainly during the dry season, thus it seems to follow a cycle with tropical characters. The precocity revealed in the populating of the compensating pond compared to the other sites can be explained based on differences in soil characteristics.

With regards to biomass, swamps with *C. papyrus* ($1,01 \pm 0,34$ kg MOC / m²) had a higher carbon stock than swamps with *Rhynchospora corymbosa* and *Cyrtosperma senegalense* ($0,034 \pm 0,01$ kg MOC / m²), as well as swamps with *Echinochloa pyramidalis* ($0,026 \pm 0,00$ kg MOC / m²). Also, regardless of the depth, stocks of soil carbon showed higher values for swamps with *C. papyrus* (66,25 kg/m²). At the edges in contrast to permanently wet areas, carbon stocks are lower irrespective of the site.

Generally, in the swamps with *C. papyrus*, carbon allocation is intended for soils with 90,18 % carbon; the litter and above and below ground compartments fixing 0,19 %, 4,06 % and 5,57 % respectively. In addition to biometric characteristics, some ecological factors strongly influence these carbon stocks: waterlogging, the depth of silt, pH, clay texture, and to a lesser extent, environmental pollution.

Key words: Dynamics, carbon storage, *C. papyrus*, wetlands, Yaounde.

CHAPITRE I. GENERALITES

I-1- INTRODUCTION GENERALE

I-1-1- CONTEXTE DE L'ETUDE

La grande diversité des forêts camerounaises contribue *a priori* à l'importante variabilité observée au niveau des stocks de carbone dans la biomasse et le sol. Ces forêts peuvent être subdivisées en plusieurs types, parmi lesquels trois grands types de forêts sur terre ferme (Letouzey, 1985) :

- les forêts denses humides, qui peuvent être sempervirentes ou semi-décidues ;
- les forêts submontagnardes ;
- et les forêts montagnardes ou forêts d'altitude; qui sont localisées au dessus de 1000 m.

Hormis ces forêts de terre ferme, le territoire camerounais renferme aussi de vastes étendues de formations végétales particulières sur sol hydromorphe au sein desquelles se rencontrent les marécages. A la différence des forêts de terre ferme, les marécages se développent sur des sols constamment humides.

Bien qu'ils ne couvrent en général que 6 % de la surface globale de la terre (Raven et al., 2009), les zones marécageuses jouent un rôle clé à l'échelle planétaire. En effet, les marécages fournissent des services environnementaux à la nature en général et à l'Homme en particulier et sont des sources de produits ayant une valeur économique. Une grande partie de la diversité biologique du globe est concentrée dans les marécages (Boupya et al., 2009). Par ailleurs, ces milieux jouent un rôle important dans les cycles biogéochimiques globaux, notamment dans le cycle du carbone (Robert et Saugier, 2003). Ils sont donc considérés aujourd'hui comme de véritables puits de carbone nécessaires au maintien de l'équilibre de la planète face au réchauffement climatique en cours (Lewis et al., 2009) dont les effets pervers ne sont plus à démontrer.

En dehors de ce rôle environnemental (réduction de la quantité de CO₂ atmosphérique) sus-évoqué, il est aussi important de souligner le rôle social et économique des marécages (Terer et al., 2004 ; Rist et Dahdouh Guetas, 2006 ; Walters et al., 2008). En effet, ces milieux jouent un rôle capital dans le bien-être psychique de l'Homme et sur sa santé ; ils sont par ailleurs la source d'une large gamme de produits forestiers non ligneux (PFNL). Ces PFNL comprennent notamment:

- des fruits (exemples *Irvingia gabonensis*, *Uapaca guineensis*, etc.) ;
- des fibres ou cordages (exemples *C. papyrus*, *Triumfetta cordifolia*, etc.) ;

- des substances médicinales (exemples *Alchornea cordifolia*, *Alstonia boonei*, *Enantia chloranta*, *Mitragyna stipulosa*, *Irvingia gabonensis*, etc.) ;
- des emballages (exemples *Halopegia azurea*, *Marantochloa purpurea*, etc.) ;
- des compléments alimentaires (exemple *C. haspan*, etc.).

Ces multiples fonctions aussi bien écologiques que socio-économiques stimulent de nombreuses recherches dans divers domaines, mais la complexité de ces milieux du point de vue floristique, allée à d'autres facteurs (difficulté d'accès, manque de formation et de moyens, déficit d'experts nationaux, etc.), fait que la part inconnue de ces biotopes reste immense. Cette constatation est encore plus vraie à propos des potentialités de stockage du carbone par les marécages du Cameroun en général et de ceux de la ville de Yaoundé et ses environs en particulier, et ce en dépit de leur grande diversité floristique.

Les déterminants du stockage du carbone en zone intertropicale sont nombreux (Sierra et al., 2007) et dus à la fois à des facteurs biophysiques (types de sol, profondeur du sol, pollution, matière organique, degré d'hydromorphie et climat) et biologique (types de plantes).

Concernant le type de sol, en particulier la texture, on manque de données quantifiées générales sur son effet sur le stockage du carbone dans les marécages d'Afrique centrale en général et du Cameroun en particulier.

Pour ce qui concerne la composante biologique, en particulier les plantes, il est à souligner qu'elles interviennent sur le bilan du stockage du carbone atmosphérique en fonction de leur productivité primaire. Ce service environnemental clé dans la lutte contre l'effet de serre est reconnu à *Cyperus papyrus*, espèce produisant d'importantes quantités de matière organique (Mamdouhet Serag, 2003 ; Saunders et al., 2007).

C. papyrus est une espèce emblématique des écosystèmes humides à métabolisme C₄ de la famille des *Cyperaceae*, se développant naturellement dans les milieux eutrophes (Hassan, 2000 ; Kipkemboi et al., 2002 ; Kyambadde et al., 2004 ; Kyambadde et al., 2005 ; Kono, 2007), particulièrement enrichis en phosphore, en azote et en matière organique (Mamdouhet Serag, 2003). Bakari et al. (2007) estiment sa productivité annuelle dans ces conditions écologiques à 143 t. ha⁻¹. Il a été démontré que les conditions du milieu sont déterminantes dans les processus de succession et de rétablissement de *C. papyrus*, espèce-clé dans le processus de carbone (Agendia et al., 1988 ; Mamdouh, 2003 ; Bakari, 2007 ; Kengne et al., 2008). En effet, le volume d'eau et la composition en nutriments des marécages à *C. papyrus* subissent des fluctuations saisonnières ou inter-annuelles. Ces variations tant quantitatives que qualitatives influencent considérablement la structure, la dynamique, la

phénologie florale et le stockage du carbone par *C. papyrus*. Dans ce contexte, il semble aussi primordial d'étudier l'état, l'évolution et le rôle de ces milieux.

Au Cameroun, *C. papyrus* forme des peuplements denses parfois quasi monospécifiques dans les marécages de la ville de Yaoundé et ses environs (Letouzey, 1972 ; 1985 ; Kono, 2007 ; Kenfack Voukeng, 2009). Ils tiennent une place socio-économique et écologique importante pour l'Homme en général. En effet, *C. papyrus* fournit des fibres et contribue à l'amélioration du bien-être des populations humaines par l'assainissement des marécages pollués (Kengne et al., 2008). L'espèce constitue aussi un substitut alimentaire au Kenya (Muthuri et Kinyamario, 1989) et est parfois utilisée à des fins ornementales (Simpson et Inglis, 2001). Dans d'autres régions du monde, *C. papyrus* est impliqué dans la production des biogaz, des biocarburants et de la pâte à papier (Jones et Muthuri, 1985 ; Gichuki et al. 2005).

L'étude du stockage du C par *C. papyrus* permet de préconiser les moyens de lutte contre la pollution atmosphérique urbaine par le CO₂. Par ailleurs, l'intérêt additionnel de ce travail réside dans le fait qu'il permet une bonne gestion et un aménagement durable des marécages aujourd'hui secondarisés de la ville de Yaoundé et ses environs.

I-1-2- PROBLEMATIQUE

Bien que l'importance des zones humides soit aujourd'hui reconnue dans le stockage du carbone (Bernoux et al., 2002 ; Blanchart et Bernoux , 2002 ; Robert et Saugier, 2003 ; Balakrishna et Probst, 2005 ; Sharma, 2007 ; Fan et al., 2008), les travaux recensés au Cameroun se rapportant à ces biotopes sont encore rares et traitent surtout des aspects botaniques (Letouzey, 1968 ; 1985 ; Nkongmeneck, 1979 ; Amougou Akoa, 1986 ; 1987 ; Sonwa, 1992 ; Ndongo Din, 2001 ; Assonfack, 2004 ; Kono, 2007 ; Njiké, 2011). Le manque d'informations et les difficultés de collecte des données *in situ* sont autant de freins à la prise en compte des marécages dans les projets de développement. En plus de la régulation du cycle de l'eau et de la préservation de la biodiversité, d'autres services environnementaux tels que le stockage du carbone dans la biomasse, la litière et dans le sol leur sont aussi reconnus (Robert et Saugier, 2003). Ces multiples bénéfices indiquent que ces infrastructures naturelles sont un levier de développement socio-économique et de lutte contre le changement climatique. En effet, dans la zone intertropicale secondarisée, les marécages sont aujourd'hui une préoccupation de premier ordre et s'annoncent comme un enjeu majeur du XXI^{ème} siècle (Puig, 2001).

Malgré ces atouts, les facteurs de dégradation des marécages d'origine anthropique dans la ville de Yaoundé et ses environs sont croissants (Agendia et al., 1998 ; Bopda et Awono, 2003 ; Nguégang et al., 2008). Cette disparition d'écosystèmes naturels entraîne inexorablement une perte de diversité des espèces végétales dont la valeur n'a, dans de nombreux cas, même pas encore pu être estimée.

Parmi les facteurs de dégradation des marécages on peut citer entre autres: l'urbanisation, l'agriculture, les usages traditionnels, le reboisement à base d'arbres à croissance rapide et à forte évapotranspiration. Ces activités anthropiques contribuent à la disparition des espèces végétales hygrophiles, hydrophiles et forestières (Kono, 2007 ; Lavieille, 2010) et engendre un relâchement important de CO₂ dans l'atmosphère (Weltzin, 2000 ; 2003). L'impact de ces perturbations sur le renforcement de « l'effet de serre », générateur de changement climatique, demeure méconnu, en raison de l'absence de données fiables concernant les stocks de carbone séquestrés dans les différents compartiments des marécages en général et les communautés marécageuses à *C. papyrus* en particulier. En effet, au cours de ce dernier siècle, la concentration en CO₂ est passée de 280 ppmv, avant l'ère industrielle, à près de 367 ppmv en 1999 (IPCC, 2001). Ces augmentations, par effet anthropique (déforestation, usage des combustibles fossiles), de CO₂ dans l'atmosphère sont largement dominantes, celui-ci participe pour environ 60 % au potentiel de réchauffement global (IPCC, 2001).

Diverses solutions sont alors proposées afin d'atténuer cette augmentation de la teneur en gaz à effet de serre de l'atmosphère. L'une d'entre elles concerne le stockage du carbone d'origine atmosphérique dans les marécages. En effet, l'article 3.4 du protocole de Kyoto prévoit la prise en compte de puits de carbone tels que les zones humides dans les bilans globaux de gaz à effet de serre (Bernoux et al., 2002). Plusieurs études ont été effectuées à l'échelle nationale (Sonwa, 1992 ; Kengne et al., 2008 ; Kenfack Voukeng, 2009) et africaine en général (Muthuri, 1985 ; Boar et al., 1999 ; Mamdouh, 2003 ; Bakari, 2007 ; Saunders et al., 2007 ; Taita et al., 2012) afin d'estimer le potentiel de stockage de carbone dans les marécages à *C. papyrus* et le rôle induit de ces milieux dans la lutte contre le changement climatique. Ces travaux concluent à un bénéfice non négligeable du stockage de carbone dans la biomasse aérienne et souterraine de *C. papyrus*. Cependant, ces études n'abordent que sommairement les stocks de carbone contenus dans le sol malgré d'importantes quantités de matière organique restituée au sol par *C. papyrus* comparativement aux autres macrophytes aquatiques. La nature de la matière organique a pourtant une forte influence sur la quantité du

carbone et la disponibilité des nutriments dans le sol (Martinez et al., 2008 ; Malamoud et al., 2009). Le sol représente ainsi le plus grand réservoir de carbone de la biosphère continentale contenant environ deux fois le stock de carbone atmosphérique et trois fois le stock de carbone contenu dans la végétation (IPCC, 2001). Dans un contexte environnemental et climatique changeant, lié ou non aux activités humaines, la connaissance de la contribution des marécages à *C. papyrus* au stockage du carbone devient nécessaire dans la ville de Yaoundé et ses environs.

I-1-3- OBJECTIFS DE L'ETUDE

I-1-3-1- Objectif général

Le présent travail a pour objectif général d'étudier l'influence des facteurs du milieu sur la dynamique du carbone dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* de la ville de Yaoundé et ses environs.

I-1-3-2- Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de ce travail visent à :

- décrire et caractériser les communautés marécageuses à *C. papyrus* du point de vue floristique, structurale et dynamique ;
- étudier la phénologie de la floraison de *C. papyrus* en relation avec les facteurs abiotiques qui l'influencent;
- évaluer les stocks de carbone dans la biomasse et le sol des communautés marécageuses à *C. papyrus* ;
- comparer les stocks de carbone des communautés marécageuses à *C. papyrus* aux autres types de communautés floristiques marécageuses;
- identifier les déterminants écologiques qui influencent le stockage du carbone dans la biomasse et le sol au niveau des communautés marécageuses sous étude ;
- déterminer les fluctuations saisonnières et interannuelles des stocks de carbone dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* de la ville de Yaoundé et ses environs.

I-2- HYPOTHESES DE TRAVAIL

Cinq hypothèses ont été formulées afin d'atteindre ces objectifs spécifiques :

Hypothèse 1 : la structure, la dynamique et la phénologie de la floraison des communautés marécageuses à *C. papyrus* sont liées aux caractéristiques environnementales.

Hypothèse 2 : les stocks de carbone dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* dépendent du stade de recouvrement de la placette ainsi que des conditions environnementales.

Hypothèse 3 : les communautés marécageuses à *C. papyrus* stockent d'importantes quantités de carbone dans la biomasse et le sol par rapport aux autres types de communautés floristiques.

Hypothèse 4 : les stocks de carbone dans les communautés marécageuses varient en fonction des déterminants biologiques (variables biométriques, types de plantes et apports de litières) et édaphiques (quantité de matière organique, profondeur, pH et texture du sol).

Hypothèse 5 : les quantités de carbone stocké dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* évoluent au fil du temps.

I-3- PLAN DU DOCUMENT

Ce document est structuré en quatre chapitres :

- le premier chapitre concerne les généralités ; il présente dans un premier temps le contexte, la problématique, les objectifs et les hypothèses de l'étude et dans un second temps la revue de la littérature ;
- le second chapitre présente les sites de collecte des données et les méthodes utilisées, y compris la collecte des données et les méthodes d'analyse des données ;
- le troisième chapitre est consacré aux résultats et à la discussion ;
- le quatrième chapitre est réservé à la conclusion, aux perspectives et recommandations.

I-4- REVUE DE LA LITTÉRATURE

I-4-1- DEFINITION DES CONCEPTS

Afin de faciliter la compréhension de la présente étude, la définition des concepts essentiels a été effectuée.

Au sens de Delville et Boucher (1996), les marécages sont des têtes des réseaux hydrographiques ayant les fonds plats ou concaves éventuellement parcourus par un cours d'eau permanent. Inondés plusieurs mois par an, les marécages ont un fonctionnement physico-chimique particulier, très dépendant des conditions hydriques.

Un substrat hydromorphe désigne un sol qui s'est formé dans une zone saturée d'eau de façon permanente ou périodique (Foucault et Raoult, 2003). Au sens de Duchaufour (1977) un sol est dit hydromorphe lorsqu'il présente des marques physiques de saturation en eau. La saturation temporaire ou permanente des pores par l'eau provoque un déficit prolongé en oxygène (Blondel, 1979 ; 1995 ; Dajoz, 2000). Les substrats hydromorphes de la région de Yaoundé sont brun-jaune ou noires (YR) et riches en argiles alluviales à 0-80 cm de profondeur (Ngon-Ngon, 2007).

Le microhabitat d'une espèce au sein de son habitat (milieu de vie de l'espèce) peut se définir comme la base du type de support colonisable par celle-ci (Blondel, 1995). Autrement dit le microhabitat désigne l'endroit précis où vit une espèce. Dans le présent travail, deux types de microhabitat ont été identifiés dans chaque marécage :

- les bordures, se trouvent à la lisière des marécages et où l'eau inonde rarement la base des peuplements de *C. papyrus* ;

- les zones en permanence humide, se trouvent à proximité des plans d'eaux et en conséquence l'eau inonde la base des peuplements de *C. papyrus*.

Le stockage du carbone désigne la fixation ou l'accumulation du carbone dans un puits (sol, océan, mer, etc.). Le stockage du carbone se réfère à la problématique de la recherche de solutions conduisant à un ralentissement de l'augmentation des concentrations en gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Anonyme (2001a) signale qu'on peut agir sur le stockage du carbone par un changement d'usage des terres notamment en évitant la déforestation, en augmentant la reforestation et la surface des plantations sylvicoles et en développant l'agroforesterie.

Les stocks de carbone, dans le contexte de cette étude signifient les quantités de carbone accumulés dans la biomasse et le substrat. Les principaux stocks de carbone se retrouvent dans les écosystèmes tels que les forêts tropicales, marécages et mangroves. Dans la plupart des cas, la dégradation des écosystèmes entraîne l'émission du carbone tandis que la restauration aidera à augmenter la séquestration du carbone.

Les marécages désignent des zones humides d'eau douce (Raven et al., 2009). Il s'agit en effet des milieux dépressionnaires dont le substrat est habituellement mal drainé ; ce qui influence leur développement. Les marécages sont des paysages marqués par les biotopes de marais (Marti, 1994). Ce sont des espaces vitaux gorgés d'eau, de façon temporaire ou

permanente. Leur sous-sol peu perméable entrave l'écoulement de l'eau; ce qui conduit à un manque d'oxygène dans le sol qui à son tour ralentit la décomposition de la matière organique (MO).

Il en résulte une accumulation de MO (débris végétaux et animaux au sol) qui peut se transformer ensuite en tourbe (Gauthier, 1989). Au sens de Leupi (1994), en pédologie, "tourbe" (Torf en allemand) désigne un type d'humus et "tourbière" (Moor en allemand) des sols dont l'épaisseur de tourbe dépasse 30 cm.

En plus de l'emplacement et de l'histoire de la formation de la tourbe, la proportion de MO joue aussi un rôle dans la définition des différents types d'humus. Une tourbe peut contenir plus de 30 % de MO, un anmoor entre 15 et 30 % et un mull moins de 15 %. Du centre vers la périphérie des marais, Marti (1994) distingue trois types de microhabitats en fonction de l'augmentation graduelle de la MO d'origine végétale : les hauts-marais, les marais de transition et les bas-marais.

La teneur en MO s'obtient en dosant la teneur en carbone organique (CO) qui est le carbone contenu dans la MO. Anne (1945) estime que : $\% \text{ MO} / \% \text{ CO} = 1,72$. Sur le plan environnemental, l'augmentation de la MO dans le sol participe à contrer le dégagement du CO₂ pouvant rejoindre l'atmosphère et accroître les quantités de gaz responsable de l'effet de serre.

Pour Dajoz (2000), les marécages représentent des écosystèmes qui occupent les marges des rivières (milieux lotiques), étangs et lacs (milieux lentiques).

La phénologie chez les végétaux est l'étude des manifestations périodiques de phénomènes morphologiques, biologiques et physiologiques en relation avec les facteurs climatiques (Puig, 2001). Malgré une relative uniformité des conditions climatiques dans les forêts tropicales humides, des cycles peuvent exister dans la croissance végétative. Le caractère saisonnier de la floraison repose d'une part sur le synchronisme floral inter et intraspécifique, et d'autre part sur les variations saisonnières climatiques. La floraison est sous la dépendance des déterminants exogènes (les précipitations, la température, la charges minérale, le pH) et les facteurs endogènes qui ne s'expriment que sous l'effet d'un stimulus externe (Sabatier et Puig, 1986). La phénologie est un aspect important de la biologie des populations car elle concerne non seulement la vie de chaque espèce, mais aussi la dynamique des relations inter-spécifiques, dans le cadre des phénomènes de compétition, prédation,

pollinisation, dispersion des diaspores et frugivorie (Puig, op. cit.). Ainsi, des changements temporels de la disponibilité des ressources (nectar, pollen et fruits) produites par les plantes ont des conséquences significatives sur les animaux.

I-4-2- CYCLE DU CARBONE

Des éléments du bilan global du carbone (Fig.1), on observe que l'écosystème terrestre contribue beaucoup au stockage de carbone. Le compartiment plante renferme presque autant de carbone que l'atmosphère ; le sol, quant à lui, renferme deux fois plus de carbone que l'atmosphère (Koskela et al., 2000 ; Robert et Saugier, 2003). Il y a des échanges de carbone entre ces différents éléments du cycle global, que ce soit naturel ou à la suite des activités anthropiques, qui sont entre autres: la combustion du carbone fossile, les industries, la déforestation, l'agriculture, le transport et le bâtiment (Fig. 2).

En d'autres termes, les formations végétales constituent un composant important dans le changement global parcequ'elles peuvent présenter, selon leur mode de gestion, un impact positif ou négatif du changement climatique induit par l'homme (Schimel et al., 2001; Canadell et al., 2007; Heimann et Treichstein, 2008). En effet, on observe une grande capacité de stockage de carbone due à l'absorption du CO₂ de l'atmosphère pour une formation végétale stable. En revanche, on pourrait aussi s'attendre à un retour d'une quantité considérable de carbone accumulée par formation végétale dans l'atmosphère si cette formation végétale est perturbée (Houghton et Goodale, 2004; Luysaert et al., 2008). Les processus naturels d'échange de carbone entre l'atmosphère, la végétation et le sol à l'échelle de la parcelle sont: la photosynthèse, la respiration autotrophe (plante) et la respiration hétérotrophe (activité microbienne et tous les microorganismes) (Cao et Woodward, 1998; Malhi et al., 2002). De ces processus, les écosystèmes ont un potentiel de stockage correspondant à un puits global de 2,8 Gt C. an⁻¹. Toutefois, le potentiel de stockage du carbone dépend du type d'écosystème (Robert et Saugier, 2003). Tout comme les tourbières, les zones marécageuses, selon l'espèce végétale dominante sont reconnues pour avoir un effet sur le stockage de carbone à la fois dans la biomasse et dans le sol (Robert et Saugier, op. cit.). Aussi, les zones marécageuses représentent-elles un potentiel de stockage de carbone important. D'où les préoccupations et intérêts internationaux pour l'acquisition de connaissances précises sur ces potentialités de fonction de puits de CO₂ de ces écosystèmes.

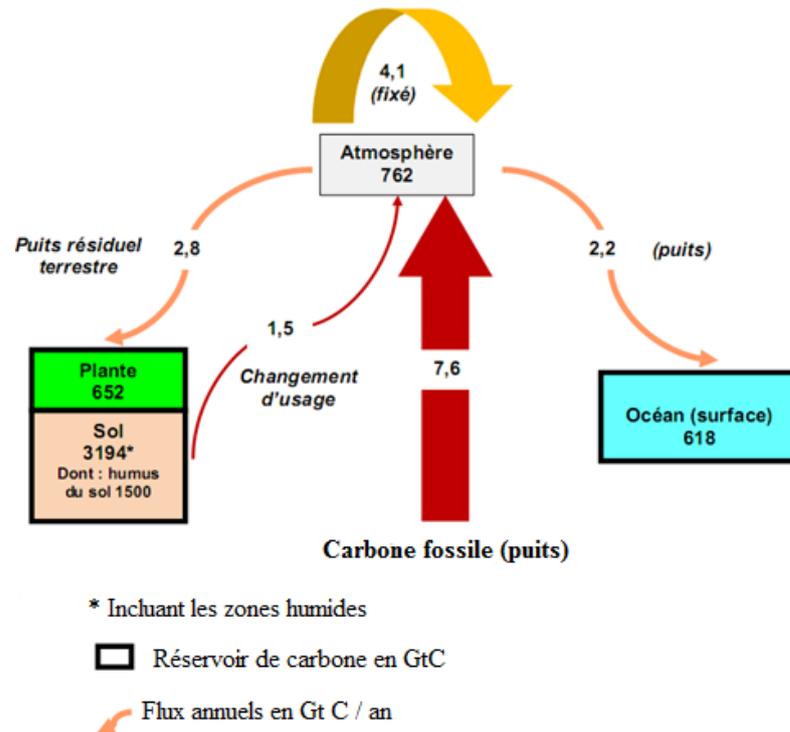


Fig.1. Cycle global du carbone, focus sur l'Agriculture, la Foresterie et les autres gestion des terres (Canadell et al., 2007).

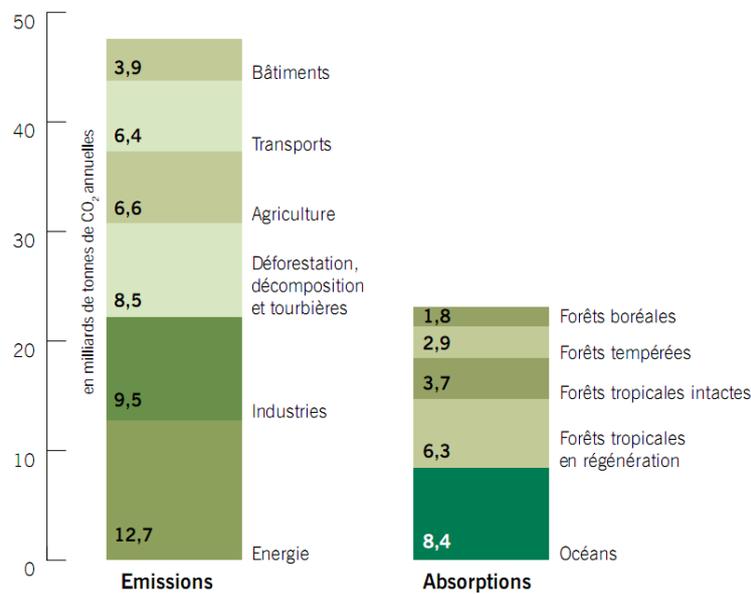


Fig. 2. Flux globaux de gaz à effet de serre en 2000 (Pan, 2011).

I-4-3- PROBLEMATIQUE DES GAZ A EFFET DE SERRE

I-4-3-1- Définition

L'effet de serre, processus atmosphérique naturel, consiste en l'absorption par certains gaz de l'atmosphère de rayonnements infrarouges émis par le sol. Ces flux de rayonnement

thermique réchauffent l'atmosphère qui rayonne vers la Terre augmentant ainsi la température de l'atmosphère au voisinage du sol (Kandel et Fouquart, 1992). Sans ce phénomène, la température moyenne terrestre serait de - 18 °C au lieu de 15 °C actuelle. Cet avantage thermique étant limité aux basses couches de l'atmosphère, c'est au-delà de 5000 m d'altitude que l'on peut mesurer cette température théorique de -18 °C (Leroux, 2004). Au sens de Puig (2001) et de Chedin (1994), cet effet de serre naturel dépend de la présence dans l'atmosphère de gaz radiativement actifs dans l'infrarouge, principalement la vapeur d'eau, mais aussi du CO₂, CH₄, N₂O, etc. L'accroissement du taux atmosphérique de ces gaz (Tableau I) du fait des activités humaines renforce l'effet de serre naturel et tend à augmenter la température de la planète (Puig, op. cit.).

Tableau I. Concentration dans l'atmosphère des gaz à effet de serre d'origine anthropique (Chedin, 1994 ; Puig, 2001).

	CO ₂ (ppmv)	CH ₄ (ppmv)	N ₂ O (ppbv)	CFC11 (ppvt)	CFC12 (ppvt)
Période pré-industrielle	280	0,8	288	0	0
Actuellement	354	1,7	310	280	484
Variation annuelle	1,8	0,015	0,8	10	17
Pourcentage de variation annuelle	0,5	0,9	0,25	4	4
Temps de résidence dans l'atmosphère (en années)	50 - 100	10	150	60	120

I-4-3-2- Typologie de gaz à effet de serre

L'atmosphère est composée d'azote (78,1 %) et d'oxygène (20,9 %), avec un certain nombre de gaz à l'état de traces dont l'argon (0,93 %), l'hélium et les gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone et l'ozone troposphérique. L'atmosphère contient également la vapeur d'eau dont la portion est très variable mais dont la quantité est généralement de 1 % (Anonyme, 2007). Ces composants de l'atmosphère contribuent à «l'effet de serre naturel» qui n'est autre que le processus permettant à l'atmosphère de se maintenir à une température de + 15 °C, condition indispensable à la vie sur terre. Les gaz ne sont pas tous concernés ; cela dépend de leur structure moléculaire, de leur spectre d'absorption qui les rend plus ou moins aptes à renvoyer les rayonnements thermiques vers le sol. Les principaux gaz à effet de

serre possèdent une structure moléculaire non symétrique (Anonyme, 2007.). Ces gaz concernent la vapeur d'eau, le gaz carbonique, le méthane, l'oxyde nitreux, l'ozone et les hydrocarbures halogénés. De plus, les gaz à effet de serre n'ont pas tous la même capacité à absorber le rayonnement infrarouge, ni le même temps de résidence dans l'atmosphère.

Il est à souligner qu'environ trois quart des émissions mondiales du CO₂ d'origine anthropique proviennent des combustibles fossiles. Le reste est imputable, pour l'essentiel, au changement de mode d'usage de l'espace et en particulier à la déforestation (Puig, 2001).

Au Cameroun, les émissions de gaz à effet de serre proviennent de plusieurs secteurs d'activités (Fig. 3). De manière spécifique, les gaz à effet de serre proviennent de la conversion des écosystèmes en espaces agricoles (Anonyme, 2012). Le CO₂ provenant de ce secteur est estimé à 22 186 Gg E CO₂ ; soit environ 50,44 % des émissions (Amougou, 2010).

Cette pression anthropique sur les ressources naturelles va grandissante dans les marécages des zones urbaines et péri-urbaines où les populations construisent des habitations, approvisionnent le bétail et cultivent diverses denrées alimentaires (Njiké, 2010). Or ces zones où apparaissent des signes d'intensification des systèmes de production jouent un rôle déterminant dans le renforcement de l'effet de serre et par conséquent dans la dérégulation du mésoclimat.

L'augmentation de la concentration atmosphérique en gaz à effet de serre constitue un surplus artificiel de gaz à effet de serre essentiellement d'origine anthropique qui serait responsable du réchauffement climatique actuel. On pourrait parler d'un phénomène d'amplification et d'effet de serre additionnel. La perturbation climatique est donc attribuée directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui vient s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables (Anonyme, 2013).

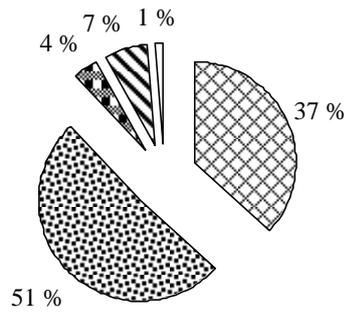
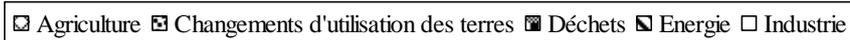


Fig.3. Répartition des émissions de gaz à effet de serre au Cameroun (Anonyme, 2013).



I-4-4- RESERVOIRS PLANETAIRES DE CARBONE

I-4-4-1- Atmosphère

L'atmosphère est considérée comme le plus petit des réservoirs de C du globe avec un stock estimé à 750 Gt (Anonyme, 2007). La concentration en CO₂ atmosphérique a considérablement évolué au cours des derniers siècles, passant de moins de 280 ppm pendant la période préindustrielle (jusqu'à la fin du 18^{ème} siècle) à plus de 360 ppm à l'époque actuelle (Lavieille, 2010). L'impact des activités anthropiques a été mis en évidence dans l'explosion récente de la concentration du CO₂ de l'atmosphère, due notamment à la combustion des hydrocarbures fossiles (Anonyme, 2013).

I-4-4-2- Biosphère terrestre

La biosphère terrestre est constituée par la biomasse animale et végétale, ainsi que par le carbone organique stocké dans la tranche supérieure des sols. La biosphère joue un rôle majeur dans la régulation du climat de la Terre et du cycle global du carbone (Hendrickson, 1990). Le stock de carbone de la biosphère est estimé à 2000 Gt (Anonyme, 2007). D'après Dixon et al. (1994), environ 360 Gt C sont stockées dans les forêts, dont 60 % (215 Gt C) aux latitudes inférieures à 25°, et 25 % aux hautes latitudes (au-delà de 50° de latitude Nord). Ces auteurs estiment à environ 250 Gt C la quantité stockée dans la matière en décomposition, et 1200 à 1600 Gt C la quantité stockée dans la partie superficielle des sols (moins de 1 m de profondeur). La modification des types de végétation par les activités humaines (cultures, déforestation, feux de brousse, etc.) représente la principale perturbation apportée au stock de carbone de la biosphère.

Selon Houghton et al. (2008), le changement d'occupation des sols entre 1850 et 1990 aurait été la cause d'une émission cumulée de 122 ± 40 Gt C. Depuis, le défrichage des forêts tempérées tend à diminuer et les forêts se développent à nouveau dans les zones de culture abandonnées (Schimel et al., 2001). En revanche, les émissions de CO₂ dans la zone intertropicale ont principalement augmenté depuis la fin de la seconde guerre mondiale (Dixon et al., 1994; Houghton et al., 2008). L'utilisation généralisée de fertilisants à base de carbone organique et d'azote affecte le réservoir de carbone de la biosphère terrestre en augmentant sa capacité de stockage (Schimel et al., 2001).

I-4-4-3- Biomasse végétale

La photosynthèse est le processus métabolique par lequel les plantes utilisent le CO₂ pour synthétiser la matière organique; ce mécanisme est effectué en présence de lumière grâce à la chlorophylle. On distingue deux principaux cycles photosynthétiques : le cycle de Calvin et le cycle de Hatch-Slack. Pour la majorité des plantes, le processus de photosynthèse est celui du cycle de Calvin : ce sont les plantes de type C₃. Le terme C₃ vient du fait que le premier composé organique formé est constitué de 3 atomes de carbone. Le processus de formation de ce composé est une carboxylation, avec pour catalyseur la RubisCO qui est l'enzyme la plus abondante de la biosphère. Les plantes de types C₃ sont essentiellement les dicotylédones.

Les plantes fonctionnant selon le cycle photosynthétique de Hatch-Slack sont du type C₄. Lors du processus de photosynthèse, le CO₂ est fixé par la plante pour former des composés à 4 atomes de C, sous l'action catalytique d'une enzyme appelée PEP carboxylase. Les principales plantes de type C₄ sont les *Poaceae* originaires des zones tropicales et arides (le maïs, la canne à sucre, le sorgho, etc.). Ces plantes de type C₄ sont en général des monocotylédones, classe à laquelle appartient *C. papyrus*. Elles présentent une meilleure efficacité de stockage de carbone et de gestion de l'eau dans les écosystèmes. La quantification de ces stocks de carbone donne des informations sur le statut écologique de l'espèce.

I-4-4-4- Hydrosphère

Le système océanique renferme un stock de carbone de 38 000 Gt, dont 37 400 Gt sous forme inorganique (bicarbonate, carbonate et CO₂ dissous) et 730 Gt sous forme organique. Ce réservoir est le second en importance, loin derrière le réservoir géologique. Le carbone présent dans l'océan existe sous plusieurs formes.

En milieu aqueux, coexistent le dioxyde de carbone (CO_2 gaz dissous), l'ion hydrogénocarbonate (HCO_3^-) et l'ion carbonate (CO_3^{2-}) dans des proportions qui dépendent essentiellement du pH. Les proportions des différentes formes minérales dissoutes dans l'océan sont de 1 % pour le CO_2 , 90 % pour HCO_3^- et 9 % pour CO_3^{2-} . La fraction organique, quant à elle, se trouve sous forme particulaire et dissoute (Toggweiler, 1989). Le CO_2 océanique est à 99 % d'origine atmosphérique; le reste provient des continents (fleuves) et du dégazage du manteau (volcanisme sous marin). L'importance de la circulation des eaux continentales dans le cycle global du carbone a été largement démontrée par des auteurs comme Meybeck (1993) et Amiotte-Suchet et al. (2003). Il a été récemment mis en évidence que les apports de carbone à l'océan par les rivières doivent être pris en compte dans une distribution à l'échelle régionale des sources et des puits de CO_2 (Aumont et al., 2001). Ces apports de carbone à l'océan par les rivières sont estimés en moyenne à 1 Gt C / an (Probst et Ludwig, 2003).

I-4-4-5- Lithosphère

La lithosphère représente le réservoir de carbone le plus important du globe avec 65 500 000 Gt C (Anonyme, 2001b). Le carbone y est présent sous forme minérale (calcaires et dolomites, accessoirement graphite, diamant) et sous forme de combustibles fossiles (tourbe, lignite, charbon, bitumes, pétrole et gaz naturel).

Le carbone minéral est rencontré dans les roches carbonatées marines et d'eau douce mais aussi dans les squelettes internes ou externes d'organismes marins et d'eau douce (Keith et Weber, 1964). Les combustibles fossiles proviennent de la dégradation de la matière organique terrestre ou marine par différents processus biogéochimiques.

I-4-5- ETAT DES CONNAISSANCES SUR LES STOCKS DE CARBONE DES FORETS DU BASSIN DU CONGO ET AU CAMEROUN

L'intérêt pour l'estimation des stocks de carbone est grandissant aussi bien en zone tempérée qu'en zone intertropicale.

Avec une superficie totale de 4 048 470 km² et regroupant dix pays (Congo, Burundi, Gabon, Cameroun, Rwanda, Guinée Equatoriale, Tchad, RCA, Sao Tomé et Príncipe et RDC), les forêts du bassin du Congo stockent environ 4,6 Gt de carbone au total (Anonyme, 2013). Ces stocks de carbone, aussi bien leur qualité que leurs quantités, doivent davantage être estimés pour répondre aux attentes de la REDD+ en 2008 qui recommande la

conservation et la gestion durable des écosystèmes forestiers. La REDD+ vise à promouvoir et valoriser le rôle joué par les formations végétales pour stabiliser les concentrations globales de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. En effet, la stratégie REDD+ du Cameroun se propose de réduire le CO₂ issu de la dégradation des forêts en luttant contre les causes directes et indirectes de la déforestation d'une part, et en augmentant son stock de carbone d'autre part (Anonyme, 2013). Ainsi la meilleure connaissance de ces stocks de carbone passe par d'importants échantillonnages dans divers types d'utilisation du sol.

De manière générale, les études portant sur les stocks de carbone dans la biomasse et le sol des écosystèmes du bassin du Congo montrent des différences d'un type d'utilisation du sol à l'autre, et d'un pays à l'autre (Tableau II). Exceptée la République Démocratique du Congo, les résultats de ces rapports d'activités des projets de conservation des formations végétales indiquent que les données sur les stocks de carbone manquent encore pour certains types d'utilisation des terres tels que les écosystèmes marécageux au Cameroun, au Gabon, en Guinée équatoriale et en République Centrafricaine. Pour le Cameroun ces écosystèmes marécageux (prairies marécageuses et aquatiques) occupent 148 778 ha (Wasseige et al., 2012).

Au Cameroun, en 1994, environ 50,44 % des émissions de gaz à effet de serre provenaient des changements d'affectation de terres (Anonyme, 2005 cit. Dkamela, 2011). Depuis les années 90, nombre de publications présentent des évaluations du potentiel des forêts camerounaises en termes d'émission ou de stockage de gaz à effet de serre. Les travaux les plus connus ont essentiellement été menés sur les stocks et les émissions de gaz à effet de serre dans les différentes catégories de terre forestière à savoir : les forêts matures, forêts secondaires, vieilles jachères à *Chromolaena odorata* (Asteraceae), jeunes jachères à *C. odorata*, plantations cacaoyères, terres de cultures vivrières (Kotto-Same et al., 1997 ; Nolte et al., 2001 ; Sonwa 2004 ; Swallow et al., 2007 cit. Anonyme, 2013). D'autres estimations des stocks de carbone existent mais diffèrent selon les sources : 3505 (Anonyme, 2007) et 5043 (Wasseige et al. 2009 cit. Dkamela, 2011) millions de tonnes de carbone. Par ailleurs, quelques valeurs de stockage de C déterminées par IITA Cameroun sur 17 ans (1984-2001) indiquent que les forêts matures accumulent 250 t C / ha; les forêts secondaires 200 t C / ha et plantations de cacao sous couvert forestier 180 t C / ha (Amougou, 2010).

Il est à souligner que ces travaux ont été effectués principalement sur les écosystèmes de terre ferme. Les données sur les stocks de carbone se rapportant aux écosystèmes

marécageux du Cameroun sont rares si l'on s'en tient aux publications (Ndam Ngoupayou et al., 2005 ; Kono et al., 2015). Des études de cette nature sur les marécages pourraient davantage promouvoir leur conservation et leur gestion durable au Cameroun en général, et dans la ville de Yaoundé et ses environs en particulier. En effet, les bénéfices des bonnes pratiques visant le stockage du carbone sont multiples (Robert et Saugier, 2003) : prévention de l'effet de serre, protection des sols contre l'érosion, accroissement de la teneur en matière organique des sols (stabilité de la structure, capacité d'échange cationique), accroissement de l'activité biologique, régulation du cycle de l'eau, etc.

Tableau II. Estimations par pays du stock de carbone total (millions de tonnes) dans le bassin du Congo (Anonyme, 2008). RCA : République Centrafricaine ; RDC : République Démocratique du Congo.

Formation végétale	Pays					
	Cameroun	Congo	Gabon	Guinée équatoriale	RCA	RDC
Forêt dense humide	3 162	2 762	4 029	379	886	16 082
Forêts marécageuses	0	501	2	0	0	1 000
Forêt dense d'altitude moyenne (900-1500 m)	39	0	2	4	0	857
Forêt de montagne (plus de 1500 m)	2	0	0	0	0	117
Mosaïque forêt/terre cultivée	414	534	287	57	167	1 945
Mosaïque forêt/savanes	628	145	20	3	2 437	3 059
Forêt décidue	6	73	10	0	54	1 625
Savane boisée décidue	684	6	2	1	1 658	1 812
Savane ouverte, brousaille décidue, arbres épars	108	199	31	0	258	760
Total (Anonyme, 2008)	5 043	4 219	4 383	445	5 460	27 258
Total (Gibbs et al., 2007 cit. Anonyme, 2008)	3 454-6 138	3 458-5 472	3063-4742	268-474	3 176-7 405	20 416-36 672
Total (Gaston et al., 1998 cit. Anonyme, 2008)	3 131	2 822	3 892	349	3 740	16 316

I-4-6- GENERALITES SUR LES ZONES HUMIDES

I-4-6-1- Définitions

La terminologie « écosystème humide » regroupe un nombre important de milieux différents tant en zone continentale que côtière. La plupart de ces milieux ont souvent été

classés à l'intersection de plusieurs milieux physiques et, par voie de conséquence, à l'intersection de plusieurs disciplines scientifiques.

Aussi, comme le soulignent Mitsch et Gosselink (1993), il s'agit d'un cas particulier à gradient continu entre les hautes terres et l'eau libre. De plus, les mêmes auteurs notent que si beaucoup de milieux ont été étudiés, peu de mesures et de synthèses ont été réalisées dans le domaine de la productivité primaire en zone tropicale.

Duncan (1990) estime à plus de cinquante les définitions générales utilisées de par le monde, qu'elles soient écologiques, juridiques ou hydrologiques. Cependant, aucune définition scientifique n'est acceptée à l'échelle mondiale (Barnaud et al., 2004). Outre les explications scientifiques, des définitions des zones humides ont été incluses dans des lois visant à protéger la ressource en eau.

La législation française comporte ainsi deux définitions des écosystèmes humides, l'une de portée internationale visant à la conservation de ces milieux pour leur biologie (Convention Ramsar) et l'autre nationale (loi sur l'eau) ayant pour but la protection, la mise en valeur de la ressource en eau, qualifiée de patrimoine commun de la nation, dans le respect des équilibres naturels par la préservation des écosystèmes aquatiques (Fustec et al., 2000).

Au sens de l'article premier de la Convention de Ramsar (Iran, 1971), « les zones humides sont des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres (Anonyme, 2004a ; Anonyme, 2012).

Selon l'article 2 de la loi sur l'eau en France 1992, « on entend par zone humide les terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ; la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles et hydrophiles pendant au moins une partie de l'année ».

Dans les définitions formelles, il se dégage, à partir de deux besoins précis, une réponse spécifique qui convient à deux groupes de spécialistes des écosystèmes humides à savoir les scientifiques et les gestionnaires (Mitsch et Gosselink, 1993). Le terme écosystème humide désigne les surfaces qui sont inondées ou aux sols saturés par les eaux de surface ou de nappe pendant une durée et à une fréquence suffisante pour maintenir la présence d'une végétation spécifique et adaptée aux milieux saturés. Les écosystèmes humides sont définis

par l'UNESCO (1973) comme étant des " Formations se rencontrant [...] sur sol mouilleux, pouvant être approvisionné en eau douce et en eau saumâtre. Semblable à la forêt ombrophile tropicale sur alluvions mais en général plus pauvre en espèces arborées. Nombreux arbres à contreforts ou pneumatophores, la plupart dépassant 20 m de haut. " Ils se retrouvent de par le monde sous différentes appellations : *Varzea* au Brésil, *Swamp Forest et Marsh Forest* pour les anglo-saxons, forêts de Cyprès chauves en Floride, les pinotières en Guyane, plaines inondées à *Symphonia* en Afrique Centrale (Schnell, 1967 ; Trochain, 1980).

I-4-6-2- Situation géographique et répartition

Les écosystèmes humides sont présents sous tous les types de climat (Fig. 4.) et les premières estimations effectuées indiquent qu'elles couvrent 6 % de la surface continentale, soit 8,6 millions de km² (Mitsch et Gosselink, 1993). D'autres évaluations comptabilisent 5,26 millions de km² (Goulden et al., 2007) en utilisant une base de données altimétrique d'un degré de résolution et 5,57 km² pour Ximenès et al. (2007).

Ces évaluations à l'échelle mondiale posent déjà le problème de la disparition alarmante des surfaces occupées par les zones humides en général.

Toutefois, les écosystèmes humides de la zone tropicale représentent plus de la moitié du total (56 %), soit 4,8 millions de km² (Tableau III), et peuvent parfois représenter des surfaces supérieures à 10 % de la superficie de certaines régions. Sous ces latitudes, la forte évapotranspiration est compensée par une pluviométrie importante. Ces milieux tourbeux se trouvent pour la plupart à basse altitude dans des zones marécageuses minérotrophes (deltas, grands marais, arrière-mangroves) mais aussi en altitude, avec de fortes précipitations et des baisses de températures saisonnières ou nocturnes qui bloquent la décomposition de la matière organique qui peut ainsi s'accumuler (Manneville et al., 1999).

Dans l'hémisphère Nord, les tourbières représentent 90 % des tourbières mondiales (Francez, 2000). La grande majorité des zones humides de ces régions est constituée de tourbières ombrotrophes à sphaignes. Les sphaignes sont des plantes regroupées dans le genre *Sphagnum* qui appartient à l'embranchement des Bryophytes. Leur capacité à retenir fortement l'eau et les cations, tout en relâchant des ions H⁺, confère au milieu des propriétés physico-chimiques extrêmes avec en particulier une forte acidité et une humidité élevée entraînant une hypoxie du milieu. Ces conditions associées au climat froid et à la forte pluviométrie limitent l'activité des microorganismes du sol : la matière organique s'accumule,

avec en moyenne 10 % de la production primaire nette qui est stockée à plus long terme dans la catotelm (Francez, op. cit.). La catotelm est la zone située sous le niveau de la nappe, donc saturée en eau et peu active biologiquement.

Dans le bassin du Congo qui joue un rôle vital dans la régulation du climat mondial après l'Amazonie, la surface des zones humides est estimée à 1801200 ha (Anonyme, 2010b). Avec 376596 ha, la surface des zones humides du Cameroun est relativement importante (Tableau IV). Cette situation devrait donc encourager la réalisation des études scientifiques dans ces zones avec des axes de recherches diversifiées, ainsi que la promotion de leur conservation.

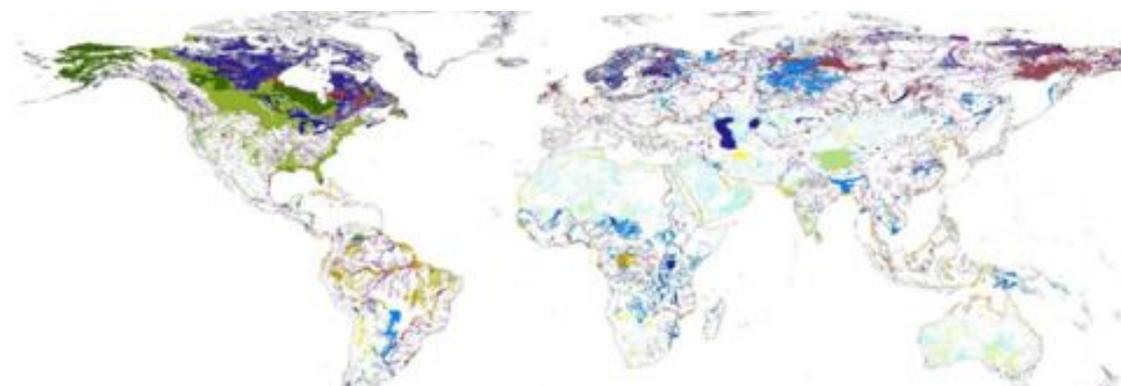


Fig. 4. Répartition mondiale des zones humides par type (Ximenès et al., 2007).



Tableau III. Répartition des zones humides mondiales selon la zone climatique (Mitsh, 1993).

Zone	Climat	Surface (km ²)	Pourcentage de la surface continentale
Polaire	Humide, semi-humide	200	2,5
Boréale	Humide, semi-humide	2558	11
Subboréale	Humide	539	7,3
	Semi-aride	342	4,2
	Aride	132	1,9
Subtropicale	Humide	1077	17,2
	Semi-aride	629	7,6
	Aride	439	4,5
Tropicale	Humide	2317	8,7
	Semi-aride	221	1,4
	Aride	100	0,8
Total		8560	6,4

Tableau IV. Estimation des surfaces (ha) couvertes par les zones humides dans les différents pays du bassin du Congo (Anonyme, 2012).

Type de zones humides	Cameroun	Congo	RCA	RDC	Gabon	Guinée Equatoriale	Burundi	Rwanda
Mangroves	227818	11190	0	181	163626	25245	0	0
Prairies aquatiques	20156	328254	96531	75888	18857	1060	0	258
Prairies marécageuses	128622	0	0	701308	0	0	0	2206
Total	376596	339444	96531	777377	182483	26305	0	2464

I-4-6-3- Typologie des zones humides et leurs spécificités écologiques

Les zones humides de surface comprennent une grande diversité d'habitat à savoir : des étendues de mares, marais, marécages, fagnes, tourbières, forêts inondées et plaines d'inondation, ainsi que les cours d'eau, chutes, lacs et zones côtières tels que les lagunes, les mangroves, marais salants, etc. (Anonyme, 2010).

Les zones humides peuvent être réparties en trois catégories qui sont les zones humides marines ou côtières, les zones humides continentales et les zones humides artificielles (Tableau V).

La classification de Cowardin (1979 cit. Anonyme, 2004a) reprise par l'UICN en 1982 et par la convention de Ramsar en 1990, répartit les zones humides en cinq grands systèmes. En effet, cette classification est basée sur une approche hiérarchisée ressemblant aux méthodes utilisées en taxonomie. Il y est défini des systèmes, des sous-systèmes et des classes.

Les systèmes identifiés concernent:

- les estuaires : qui sont les milieux aquatiques où les fleuves se jettent dans la mer et où les eaux ne sont ni salées ni douces ; dans cette classe on a les deltas, les prés salés et les vasières ;

- le milieu marin : qui n'est pas soumis à l'influence fluviale. On peut citer les milieux littoraux et les récifs coralliens. La structure des communautés benthiques et l'eutrophisation du dernier milieu cité ont été étudiés (Niam, 1994). Il ressort que les écosystèmes récifaux comptent parmi les plus productifs de la biosphère. Ces écosystèmes montrent une production brute excédant largement celle de la majorité des systèmes aquatiques connus avec $14 \text{ g C.m}^{-2} \text{ j}^{-1}$ (Birkeland, 1984) ;

- le milieu riverain : où les sols sont périodiquement inondés par les crues des cours d'eaux tels que les prairies humides, les forêts inondées et les lacs de méandres ;

- le milieu palustre : il s'agit de tous les écosystèmes humides à végétation importante (arbres, arbustes, mousses et lichens) où les eaux sont présentes en permanence. Dans cette catégorie, on a : les marécages, les marais et les fagnes. Scott (1989 cit. Anonyme 2004b) signale que c'est dans cette catégorie de zone humide que se développent les populations de *C. papyrus* ;

- le milieu lacustre : zone humide et écosystème d'eau profonde située dans une dépression ou endiguée, sans végétation arbustive, qui ont plus de 30 % de végétation de type mousse et lichens, de moins de 8 hectares et dont la profondeur n'excède pas deux mètres aux plus basses eaux.

Les sous-systèmes relatifs aux catégories précédentes sont :

- zone subtidale : zone exposée en permanence à la marée ;

-zone intertidale : zone submergée par le cycle de la marée ;

- zone tidale : zone à faible gradient hydraulique, dans laquelle les mouvements de l'eau sont contrôlés par la marée (hauteur, vitesse) ;

- zone pérenne inférieure : système à faible gradient hydrique, avec apports fluviaux continus sans influence de la marée ;

- zone pérenne supérieure : système à fort gradient hydrique, avec apports fluviaux continus sans influence de la marée ;

- zone limnique : tous types d'écosystèmes, comme les lacs ;

-zone littorale : écosystème humide qui s'étend de la côte vers le continent jusqu'aux zones de profondeur d'au moins deux mètres ou jusqu'à la limite d'extension des plantes émergentes, non pérennes.

Les classes résultant de ces sous-systèmes décrivent les écosystèmes en fonction du type de substrat et du pourcentage de la végétation dominante. Dans cette logique, la description des écosystèmes humides ou en eau profonde peut être poursuivie en subdivisant les classes avec un paramètre de permanence éventuelle de la végétation ou par les caractéristiques de la végétation dominante.

Globalement, si ces différents types de zones humides ont souvent fait l'objet d'études botaniques et écologiques (Letouzey, 1985 ; Amougou, 1986 ; 1987 ; Priso, 1994 ; Mbarga Bindzi, 1992 ; Ndongo Din, 2001 ; Kono, 2007 ; Njiké, 2010), peu de données sur les quantités de carbone stockées restent à ce jour insuffisantes.

Tableau V. Types de zones humides planétaires et leurs caractéristiques écologiques (Anonyme, 2010).

Types de zones humides	Caractéristiques écologiques
Zones humides marines ou côtières	Baies marines et détroits
	Prairies marines tropicales
	Récifs coralliens
	Rivages marins rocheux
	Eaux d'estuaires
	Marécages à mangroves, marécages à palmiers et forêts marécageuses cotidales d'eau douce
Zones humides continentales	Mares
	Marais salin
	Marais et marécages sur sols inorganiques
	Tourbières non boisées
	Zones humides de toundra
	Marécages à buissons
	Forêts marécageuses d'eau douce
	Forêts marécageuses sur tourbière
Zones humides «artificielles»	Etang de retenues d'eau
	Terre irriguée
	Sites de traitement des eaux usées
	Terres agricoles saisonnièrement inondées.

I-4-6-4- Convention de Ramsar et la conservation des zones humides

L'importance des zones humides a longtemps été méconnue (Dajoz, 2008). Elle n'est prise sérieusement en compte que depuis l'adoption de la convention de Ramsar en 1975. En mars 1999, cette convention comptait 114 pays parmi lesquels le Cameroun. Le Secrétariat, ou Bureau Ramsar, est situé à Gland, en Suisse, au siège de l'UICN. La convention a fait l'objet d'un colloque international qui s'est tenu en Espagne en 2005.

En effet, cette convention a pour objectif « d'assurer la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides par des mesures prises au plan national et par la coopération internationale comme moyens de parvenir au développement durable dans la monde entier » (Anonyme, 2004b). Elle a pour mission d'entreprendre quatre activités principales à savoir :

- inscrire des zones humides sur la liste des zones humides d'importance internationale et maintenir leurs caractéristiques écologiques ;
- élaborer des politiques nationales pour les zones humides et des plans intégrés des bassins versants, incorporer des considérations relatives à leur conservation ;

- promouvoir la conservation des zones humides et la formation en matière de recherche, gestion et surveillance des zones humides ;

- encourager l'aide au développement pour les projets relatifs aux zones humides.

La convention joue ainsi un rôle important en empêchant toute modification qui serait préjudiciable aux zones humides à l'échelle mondiale. Ces modifications d'origine anthropique et climatique influencent la nature et les fonctions spécifiques des zones humides dans le monde (Anonyme, 1999b). Au vu de ces menaces, la communauté internationale recommande davantage les études sur les zones humides (Musyimi, 2011). Toutefois, on constate la faible implication des recherches scientifiques sur les écosystèmes marécageux du bassin du Congo en général et au Cameroun en particulier. Pourtant les études sur les stocks de carbone sont fondamentales pour comprendre le fonctionnement de ces systèmes qui, par ailleurs, sont souvent l'objet de projets d'aménagement.

I-4-6-5- Utilités des zones humides

Avec une proportion de l'ordre de 10 % à l'échelle mondiale, dont 2 % de lacs, 30 % de bogs (marécages stagnants à accumulation de tourbe), 26 % de fens (marécages à bonne circulation des eaux et à accumulation de tourbe), 20 % de swamps (zone humide à végétation arbustive) et 15 % de plaines inondées (Musyimi, 2011), les zones humides sont des écosystèmes remarquables qui remplissent des fonctions essentielles. De par leur fonctionnement, elles peuvent être considérées comme les témoins précieux de l'évolution du climat. Parmi les fonctions qu'elles remplissent on peut citer:

- les fonctions scientifiques : les écosystèmes humides assurent la sauvegarde des lieux propices à la poursuite des processus biologiques et sont aussi importants dans la protection des ressources génétiques indispensables à l'amélioration des plantes cultivées et pour l'obtention des plantes médicinales (deuxième objectif de la stratégie mondiale dans la conservation de la biodiversité). Ils constituent à cet égard des laboratoires vivants pour les recherches fondamentales et appliquées, présentant un intérêt économique, écologique et social actuel ou potentiel tel que l'échantillonnage des stocks de carbone;

- les fonctions hydrologiques: en effet, les écosystèmes humides influencent le cycle de l'eau en régulant aussi bien sa quantité que sa qualité (Nzengy'a et Wishitemi, 2001). Ils retiennent l'excès d'eau pendant les périodes de précipitations et la restituent en partie aux nappes phréatiques et au cours d'eaux en étiage. Ces biotopes fonctionnent alors comme de

gigantesques éponges en assurant les rôles de protection contre les inondations et de réservoir d'eau pour les périodes de relative sécheresse ;

- les fonctions écologiques : la végétation des marécages est de façon générale assimilable à une forêt (Schnell, 1971 ; Fustec et al., 2000). Ces écosystèmes marécageux peuvent donc au même titre que les forêts, assurer des fonctions de protection, de régulation et de production primaire (Fournier et Sasson, 1983). Les fonctions écologiques peuvent donc revêtir des valeurs utilitaires pour l'Homme et se traduisent par des influences au niveau environnemental ;

- les fonctions de protection : les écosystèmes marécageux protègent les bassins versants contre l'érosion et la sédimentation d'une part et jouent un rôle dans la régulation du climat en interceptant ou réfléchissant les rayons solaires ayant des fréquences considérables d'autre part. Ces milieux abritent aussi des espèces animales et végétales et mettent à leur disposition des conditions favorables à leur survie ;

- les fonctions de régulation : les écosystèmes marécageux absorbent, mettent en réserve et libèrent le gaz carbonique, le dioxygène et les sels minéraux ; ils absorbent aussi les aérosols et les bruits, en plus ils transforment l'énergie lumineuse en énergie biochimique (Fournier et Sasson, 1983 ; McDowell, 2002) ;

- les fonctions accumulatrices d'une importante masse de matière organique que d'autres types d'écosystèmes (Fig.5.). Cette propriété leur confère un rôle clé dans l'évolution du taux de CO₂ atmosphérique et du climat (Froud-Williams, 1996 ; Saunders et al., 2007 ; Dajoz, 2008).

Malgré cette importance, leur dégradation ou disparition est un phénomène mondial dont les causes sont nombreuses, à savoir : assèchement, pollutions diverses, agriculture, urbanisation (Verhoeven et al. cit. Dajoz, 2008 ; Musyimi, 2011).

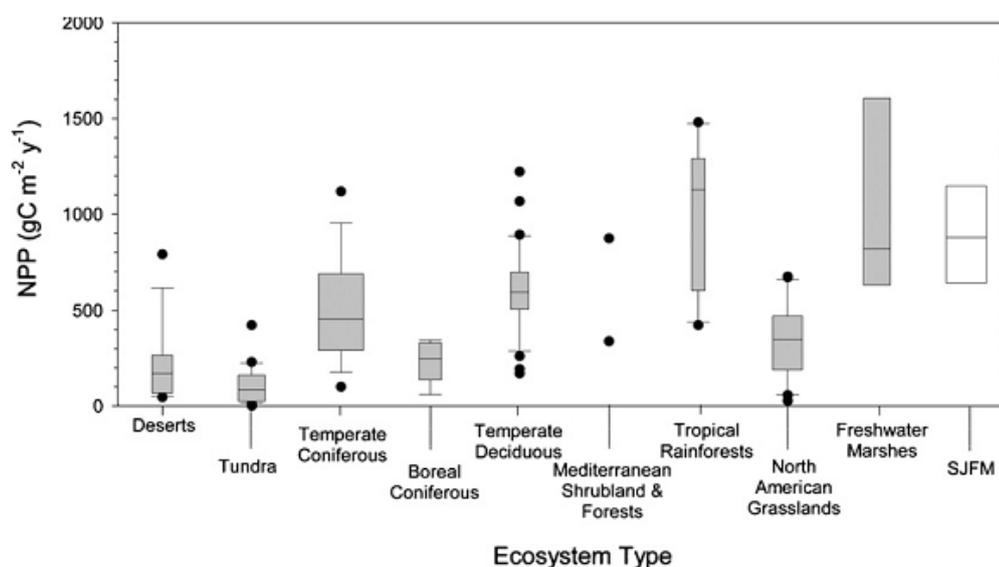


Fig.5. Productivité primaire nette ($\text{g C} / \text{m}^2 / \text{an}$) en fonction des différents types d'écosystèmes dans le monde (Esser et al., 2000 cit. Rocha et al., 2009). SJFM : marécages à *Typha latifolia* de San Joaquin en Californie.

I-4-7- CARACTERISTIQUES ET INTERETS DES SITES

Dans le cadre du présent travail, trois types de communautés marécageuses ont été étudiés, à savoir : les communautés marécageuses à *C. papyrus*, les communautés marécageuses à *Echinochloa pyramidalis* et les communautés marécageuses à *Cyrtosperma senegalense* et à *Rhynchospora corymbosa* (Tableau VI). En effet, ces communautés marécageuses évoluent sous l'influence d'un milieu urbain qui les affecte à différents degrés, notamment par l'introduction d'une charge polluante anthropogénique organique et/ou minérale, et par le prélèvement des organes des plantes. Ces activités humaines qui mettent en grand péril les différents microhabitats et espèces végétales contribuent fortement à la dégradation des écosystèmes marécageux. Leur impact environnemental pourrait donc s'avérer néfaste si rien n'est fait. La prévalence de cette anthropisation y favorise le développement d'une végétation essentiellement herbacée.

I-4-7-1- Marécages à *C. papyrus* de Yaoundé

En plus d'être un refuge pour la faune sauvage (insectes, oiseaux, serpents, etc), l'intérêt additionnel des communautés marécageuses à *C. papyrus* (1,79 ha environ) réside

aussi dans la diversité des communautés végétales et les espèces qu'elles contiennent. Ces espèces végétales vivant en communauté avec *C. papyrus* sont différentes d'un site à l'autre. Dans chaque site, la contribution de ces espèces végétales est faible par rapport à celle de *C. papyrus* aussi bien en bordures qu'en zone en permanence couverte d'eaux qui contribue au minimum à 25 % des espèces présentes sur le site du Lac Municipal et 50 % pour les autres sites (Tableau VII).

I-4-7-1-1- Etang de la Retenue

Le site de l'Etang de la Retenue abrite la plus importante population de *C. papyrus*. Situé à l'ouest de la ville de Yaoundé, il a été l'objet de nombreuses études (Sonwa, 1992 ; Fonkou, 1996 ; Kenfack Voukeng, 2009). La topographie est très accidentée. Pour des raisons méthodologiques, la population de *C. papyrus* de l'étang de la retenue a été subdivisée en deux sites, à savoir :

- le site de l'Etang de la Retenue 1, qui se trouve en contre-bas de l'extension de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé Iest le plus vaste et probablement le plus âgés. Ce site est un marécage dont le sol gorgé d'eau est encombré par une masse importante d'organes végétaux imbibés d'eau. Au niveau des bordures, on rencontre sporadiquement des billons et sillons issus des pratiques culturales. Dans les zones en permanence humides, les conditions exceptionnellement anoxiques se traduisent par l'accumulation de la matière organique. L'impact des effluents organiques (domestiques et chimiques) sur la communauté marécageuse provoque l'eutrophisation du milieu se traduisant par un important accroissement de la production végétale. La signature de cette eutrophisation sur la population de *C. papyrus* est plus marquée dans ce site par rapport aux autres sites qui se caractérisent par une certaine uniformité des conditions écologiques.

- le site de l'Etang de la Retenue 2, est localisé en contre-bas de la morgue du Centre Hospitalier Universitaire de Yaoundé (CHUY). Comme dans la situation précédente, l'activité anthropozoogène est remarquable sur les bordures.

Outre sa superficie de 1,54 ha qui fait de lui la communauté marécageuse à *C. papyrus* la plus étendue de la ville de Yaoundé, ce site abrite de nombreuses espèces typiques des marécages constituant une mosaïque de formations végétales très diversifiées. Ainsi, en plus de la population homogène de *C. papyrus*, le cortège floristique est constitué d'espèces herbacées parmi lesquelles *Ageratum conyzoides* (Asteraceae), *Axonopus compressus*

(*Poaceae*), *Asystasia gangetica* (*Acanthaceae*), *Centrosema pubescens* (*Fabaceae*), *Commelina benghalensis* (*Commelinaceae*), *Convolvulus involucrata* (*Convolvulaceae*), *Echinochloa pyramidalis* (*Poaceae*), *Leersia hexandra* (*Poaceae*), *Nephrolepis biserrata* (*Nephrolepidaceae*), *Passiflora foetida* (*Passifloraceae*), *Pennisetum purpureum* (*Poaceae*), *Polygonum lanigerum* (*Polygonaceae*), *P. salicyfolium*, *P. acuminatum*, etc. Parmi les espèces arbustives s'observent *Mitragyna stipulosa* (*Rubiaceae*), *Rauvolfia vomitoria* (*Apocynaceae*), *Voacanga africana* (*Apocynaceae*), etc. Les espèces sarmenteuses sont représentées uniquement par *Alchornea cordifolia* (*Euphorbiaceae*). La strate arborescente est discontinue et marquée par *Alstonia boonei* (*Apocynaceae*), *Eucalyptus camaldulensis* (*Myrtaceae*) et *Triplochiton scleroxylon* (*Sterculiaceae*). En marge de ces espèces indigènes se trouvent les plantes cultivées parmi lesquelles on peut citer : *Abelmoschus esculentus* (*Malvaceae*), *Amaranthus cruentus* (*Amaranthaceae*), *Capsicum frutescens* (*Solanaceae*), *Cucumis melo* (*Cucurbitaceae*), *Corchorus olitorius* (*Tiliaceae*), *Manihot esculenta* (*Euphorbiaceae*), *Solanum melongena* (*Solanaceae*), *S. nigrum* (*Solanaceae*), *Zea mays* (*Poaceae*), etc.

I-4-7-1-2- Zone marécageuse de Mvan-Ahala

La zone marécageuse de Mvan-Ahala se trouve au Sud-Ouest de la ville de Yaoundé. La topographie est très peu accidentée. Il s'agit en effet, d'un complexe marécageux au sol brun foncé en général (Priso, 1994) qui est arrosé par le Mfoundi. Bien que se trouvant dans une banlieue relativement peu habitée, la zone marécageuse de Mvan-Ahala reçoit de l'amont vers l'aval des ordures ménagères, des produits pétroliers, des hydrocarbures et diverses autres substances chimiques polluantes. Le rejet de ces substances apporte une charge organique et une masse considérable des nutriments qui occasionnent le développement de la biomasse dans les eaux. Du point de vue floristique, ce marécage est dominé dans l'ensemble par une végétation herbacée. Au sein de cette zone marécageuse, quatre sites ont été retenus, à savoir :

- le site de Mvan-Ahala 1, qui se trouve à l'entrée de « Pharmacam » au voisinage du premier échangeur. La population de *C. papyrus* retenue a une superficie de 0,06 ha environ. En plus de *C. papyrus*, ce site est dominé par cinq espèces végétales de la famille des *Poaceae*, à savoir : *Echinochloa pyramidalis*, *Pennisetum purpureum*, ensuite viennent *Polygonum lanigerum* (*Polygonaceae*), *P. salicyfolium* et *P. acuminatum*. Parmi les plantes

cultivées sur les bordures s'observent surtout *Amaranthus cruentus* (*Amaranthaceae*), *Solanum macrocarpum* (*Solanaceae*) et *Zea mays* (*Poaceae*) ;

- le site de Mvan-Ahala 2 se trouve sur l'axe routier Douala-Yaoundé, précisément en face du « Dépôt-Guinness », à proximité du deuxième échangeur. Le tapis herbacé est uniforme et ne laisse apparaître la vase qu'aux endroits cultivés par les riverains. Les principales espèces végétales indigènes concernent *Alchornea cordifolia* (*Euphorbiaceae*), *Costus afer* (*Costaceae*), *Dioscorea bulbifera* (*Dioscoreaceae*), *C. papyrus* (*Cyperaceae*) *Ipomoea preussii* (*Convolvulaceae*) et *P. purpureum* (*Poaceae*). *Amaranthus cruentus* (*Amaranthaceae*) et *Zea mays* (*Poaceae*) sont les principales plantes cultivées.

- le site de Mvan-Ahala 3 et Mvan-Ahala 4 se trouvent à droite de l'axe routier deuxième échangeur – Université NDI SAMBA. Le site Mvan-Ahala 3 est localisé à 300 m de la zone Magzi et le second à environ 500 m du premier, derrière la station-service Total, proche de la société Patrice Bois. Ces deux sites sont dominés par *Alchornea cordifolia* (*Euphorbiaceae*), *P. purpureum* (*Poaceae*), *Polygonum lanigerum* (*Polygonaceae*), *P. salicyfolium*, *P. acuminatum*, etc.

I-4-7-1-3- Lac Municipal

Situé au centre de la ville de Yaoundé, le site du Lac Municipal comporte la population de *C. papyrus* la moins riche en individus. Sa situation en milieu urbain facilite son accès malgré la forte pente. Physionomiquement, on n'observe pas d'importantes variations floristiques. Les plantes rudérales rencontrées concernent *Ageratum conyzoides* (*Asteraceae*), *Bidens pilosa* (*Asteraceae*), *C. longibracteatus* (*Cyperaceae*), *Polygonum lanigerum* (*Polygonaceae*), *P. salicyfolium*, et *P. acuminatum*, etc. On y observe aussi quelques espèces exotiques plantées par la Communauté urbaine pour des considérations ornementales : *Eucalyptus camaldulensis* (*Myrtaceae*) et *Terminalia mantaly* (*Combretaceae*). On observe par endroit d'immenses touffes de *Bambousa vulgaris* (*Poaceae*) et quelques espèces cultivées sur les versants: *Manihot esculenta* (*Euphorbiaceae*), *Musa paradisiaca* (*Musaceae*) et *Zea mays* (*Poaceae*).

Tableau VI. Topographie, morphologie, anthropisation et quelques caractéristiques écologiques des sites étudiés.

Types de zone humide	Site	Caractéristiques écologiques dominantes					
		Topographie / couleur du sol (humide) toute profondeur confodue	Altitude (m)	pH du sol	Anthropisation	Profondeur moyenne de la vase (m)	Présence et répartition d'eau
Marécages à <i>C. papyrus</i>	Etang de la Retenue 1	Dépression/noire	729	5,19 – 6,45	Présence de traces	1,83 ± 0,23	Eau sur 75 % de la surface
	Etang de la Retenue 2	Dépression/noire	726	5,21 – 6,03	Présence de traces	1,54 ± 0,04	Eau sur 75 % de la surface
	Lac Municipal	Dépression/noire	724	5,15 – 6,20	Présence de traces	1,34 ± 0,21	Eau sur 50 % de la surface
	Mvan-Ahala 1	Plat/brun-jaune	687	5,23 – 6,28	Présence de traces	1,43 ± 0,02	Eau sur 50 % de la surface
	Mvan-Ahala 2	Plat/brun-jaune	687	5,22 – 6,14	Peu de traces	1,49 ± 0,39	Eau sur 50 % de la surface
	Mvan-Ahala 3	Plat/brun-jaune	688	5,11 – 6,37	Absence de traces	1,31 ± 0,21	Eau sur 50 % de la surface
	Mvan-Ahala 4	Plat/brun-jaune	686	5,29 – 6,21	Absence de traces	1,21 ± 0,21	Eau sur 50 % de la surface
Marécages à <i>E. pyramidalis</i>	Coron	Plat/grise	621	5,71 – 5,67	Peu de traces	1,6 ± 0,4	Eau sur 50 % de la surface
	Mvog-Ada	Plat/grise	638	4,56 – 6,06	Présence de traces	1,7 ± 0,6	Eau sur 50 % de la surface
	Mvog-Mbi	Dépression/noire	623	5,91 – 5,98	Présence de traces	1,4 ± 0,1	Eau sur 50 % de la surface
	Montée Zoé	Plat/rouge-pâle	622	4,75 – 5,18	Présence de traces	1,5 ± 0,2	Eau sur 50 % de la surface
Marécages à <i>C. senegalense</i> et à <i>R. corymbosa</i>	Messa-Assi	Dépression/noire	664	5,54 – 5,67	Absence de traces	1,2 ± 0,6	Eau sur toute la surface
	Nkolnkié	Dépression/noire	643	5,31 -5,49	Absence de traces	1,07 ± 0,4	Eau sur toute la surface
	Odza	Plat/noire	625	5,92 – 6,02	Présence de traces	2,02 ± 0,5	Eau sur toute la surface

Tableau VII. Listes des espèces caractéristiques et leur contribution au peuplement en BOR et dans les ZPH en fonction des sites. Th : thérophytes ; Ph : phanérophtes ; Go Rh : géophytes rhizomateux ; Mg Ph : mégaphanérophtes ; Nn Ph : nanophanérophtes ; Hc : hémicryptophytes ; Ch : chaméphytes ; ER : Etang de la Retenue ; LM : Lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala ; BOR : bordures ; ZPH : zones en permanence humides ; - : espèces absentes.

Sites	Espèces	Familles	Types biologiques	Contribution (%)	
				BOR	ZPH
ER1 (1,5 ha)	<i>Adenia cissampeloides</i>	<i>Passifloraceae</i>	Ph	-	5
	<i>Alstonia boonei</i>	<i>Apocynaceae</i>	Ph	-	10
	<i>C. papyrus</i>	<i>Cyperaceae</i>	Go Rh	45	75
	<i>Lycopersicum esculentus</i>	<i>Solanaceae</i>	Th	5	-
ER2 (0,04 ha)	<i>C. haspan</i>	<i>Cyperaceae</i>	Go Rh	5	-
	<i>C. papyrus</i>	<i>Cyperaceae</i>	Go Rh	50	75
	<i>Fuirena umbellata</i>	<i>Cyperaceae</i>	Go Rh	0,1	-
	<i>Ludwigia africana</i>	<i>Onagraceae</i>	Th	-	5
LM (0,02 ha)	<i>C. alopecuroides</i>	<i>Cyperaceae</i>	Go Rh	5	-
	<i>C. papyrus</i>	<i>Cyperaceae</i>	Go Rh	25	50
	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Myrtaceae</i>	Mg Ph	25	-
	<i>Rhynchospora corymbosa</i>	<i>Cyperaceae</i>	Go Rh	5	0,1
MA1 (0,06 ha)	<i>Aneilema umbrosum</i>	<i>Commelinaceae</i>	Th	5	-
	<i>C. papyrus</i>	<i>Cyperaceae</i>	Go Rh	50	75
	<i>Melastomastrum capitatum</i>	<i>Melastomaceae</i>	Nn Ph	0,1	-
	<i>Pycneus lanceolatus</i>	<i>Cyperaceae</i>	Go Rh	5	-
MA2 (0,10 ha)	<i>C. papyrus</i>	<i>Cyperaceae</i>	Go Rh	50	75
	<i>Mitragyna stipulosa</i>	<i>Rubiaceae</i>	Mg Ph	-	5
	<i>Heterotis decumbens</i>	<i>Melastomataceae</i>	Ch	5	-
	<i>Scleria verrucosa</i>	<i>Cyperaceae</i>	Hc	5	-
MA3 (0,03 ha)	<i>Bacopa crenata</i>	<i>Plantaginaceae</i>	Th	5	-
	<i>C. papyrus</i>	<i>Cyperaceae</i>	Go Rh	50	75
	<i>Urera cameroonensis</i>	<i>Urticaceae</i>	Nn Ph	0,1	-
MA4 (0,04 ha)	<i>C. papyrus</i>	<i>Cyperaceae</i>	Go Rh	50	75
	<i>Palisota hirsuta</i>	<i>Commelinaceae</i>	Ch	0,1	-
	<i>Tithonia diversifolia</i>	<i>Asteraceae</i>	Th	5	-
	<i>Triumfetta cordifolia</i>	<i>Tiliaceae</i>	Th	5	-

I-4-7-2- Autres types de marécages

Sept autres sites marécageux se trouvant en zone urbaine et péri-urbaine ont été retenus sur la base des plantes dominantes.

Le site de Messa-Assi (330 m²) est un marécage plat traversé par le ruisseau « Ngonlo ». Ce marécage est dominé par une mosaïque de monocotylédones : *Rhynchospora corymbosa* (*Cyperaceae*) et dicotylédones : *Cyrtosperma senegalense* (*Araceae*) qui se développent sur un substrat vaseux d'environ 1m d'épaisseur. Les autres taxa concernent

Commelina benghalensis (Commelinaceae), *Panicum maximum* (Poaceae), *Pennisetum purpureum*, etc. On peut souligner la présence de quelques déchets inorganiques en très faible quantité.

Le site en contre-bas de la montée Zoé (280 m²) est un marécage traversé par le ruisseau « Ewoué ». Ce site est dominé par *Echinochloa pyramidalis* qui vit en communauté avec *Commelina benghalensis* (Commelinaceae), *C. alopecuroides* (Cyperaceae), *P. purpureum* (Poaceae), *Tithonia diversifolia* (Asteraceae), etc. La matière organique au sol y est faible, du fait d'un lessivage régulier par les eaux de pluies.

Le site de Mvog-Ada (300 m²) est un marécage plat traversé par le ruisseau « Ewoué » ; dans lequel on observe une dominance de Monocotylédones et notamment *Echinochloa pyramidalis* (Poaceae). Ce marécage comporte une importante quantité de déchets organiques et inorganiques respectivement constitués de débris végétaux et de matières plastiques.

Le site de Mvog-Mbi (400 m²) est un marécage localisé dans une dépression traversé par la rivière « Mfoundi ». Le milieu étudié renferme une forte colonie de *Cyperus alopecuroides* (Cyperaceae) et *Echinochloa pyramidalis* (Poaceae). On y observe aussi des dicotylédones telles qu'*Asystasia gangetica* (Acanthaceae), *Drymaria cordata* (Caryophyllaceae), *Emilia coccinea* (Asteraceae), *Erigeron floribundus*, etc. Ce site est fortement pollué du fait de la présence d'importantes quantités de matière organique imbibée d'eau.

Le site de Coron (300 m²) est un marécage plat localisé derrière une agence de voyage (Central Voyage). Ce marécage est traversé par le ruisseau « Aké ». Le sol est constitué de vase relativement gorgée d'eau sur laquelle se développent *Ageratum conyzoides* (Asteraceae), *E. pyramidalis* (Poaceae), *E. floribundus* (Asteraceae) et *P. purpureum*, etc.

Le site de Nkolnkié (500 m²) est un marécage alimenté par le ruisseau Nkié. Il s'agit d'un marécage encaissé présentant une strate arbustive dense, homogène et un sous bois riche en herbes. Les herbacées dominantes concernent *Acroceras zizanoides* (Poaceae), *Cyrstosperma senegalense* (Araceae), *C. longibracteatus* (Cyperaceae), *Rhynchospora corymbosa* et *Setaria barbata* (Poaceae). Les plantes arbustives observées sont: *Hallea stipulosa* (Rubiaceae), *Macaranga assas* (Euphorbiaceae), *Voacanga thouarsii* (Apocynaceae), etc. Les espèces ligneuses concernent surtout *Cordia plathytirsia*

(*Boraginaceae*), *Spathodea campanulata* (*Bignoniaceae*) et *Uapaca guineensis* (*Euphorbiaceae*).

Le site d'Odza (Borne 10) (plus de 1000 m²) est situé dans une zone péri-urbaine. Il s'agit en effet d'un marécage plat alimenté par le ruisseau «Mbankomo» et qui abrite une communauté végétale constituée de *Anchomanes difformis* (*Araceae*), *Cyperus longibracteatus* (*Cyperaceae*), *Cyrtosperma senegalense* (*Araceae*), *Palisota hirsuta* (*Commelinaceae*), *Passiflora foetida* (*Passifloraceae*), *Rhynchospora corymbosa* (*Cyperaceae*), *Scleria verrucosa*, etc. Toute fois, *Cyrtosperma senegalense* (*Araceae*) et *Rhynchospora corymbosa* (*Cyperaceae*) dominant le marécage. La quantité de matière organique au sol est spectaculairement élevée et peut atteindre plus de 40 % de la superficie totale. Cette matière organique est essentiellement constituée de feuilles mortes et tiges d'arbustes.

I-4-8- CARACTERISTIQUES ECOLOGIQUES DU GENRE *Cyperus*

La plupart des *Cyperaceae* appartenant au genre *Cyperus* se rencontrent dans les formations ouvertes sur sol humide (Lourougnon, 1972 ; Letouzey, 1979 ; Kono, 2007). Toutefois, les espèces du genre *Cyperus* ne sont pas limitées écologiquement aux zones humides. En effet, les *Cyperaceae* du genre *Cyperus* sont aussi observées sur les milieux de terre ferme et les rochers (Assonfack, 2004 ; Kono, 2007 ; Mbarga Bindzi et al., 2013). Onana et Cheek (2011) soulignent que les genres des *Cyperaceae* les plus majoritaires en Afrique concernent *Cyperus*, *Kyllinga*, *Pycneus* et *Bulbostylis*. Ils proviennent des savanes périforestières et migrent vers les écosystèmes forestiers (Fig. 6). Cette famille de plantes très diversifié, compte plusieurs centaines d'espèces aquatiques, dont environ 70 se trouvent dans la zone des savanes africaines. Le genre *Cyperus* comporte 2000 espèces (Letouzey, 1972). Hutchison et Dalziel (1972) signalent 67 espèces africaines appartenant au genre *Cyperus* ; parmi les espèces les plus répandues en zone intertropicale on peut citer *C. alopecuroides*, *C. amabis*, *C. angolensis*, *C. aromaticus*, *C. conglomeratus*, *C. cuspidatus*, *C. cyperoides*, *C. denudatus*, *C. difformis*, *C. digitatus*, *C. distans*, *C. dives*, *C. erectus*, *C. fertilis*, *C. fibrillosus*, *C. flabelliformis*, *C. fluminalis*, *C. gracilinux* (syn. *C. dilatatus*), *C. hensii*, *C. imbricatus*, *C. kyllingia*, *C. lanceus*, *C. macrocarpus*, *C. maritimus* ; *C. melanospermus*, *C. mundtii*, *C. nduru* ; *C. pseudopilosus*, *C. polystayos*, *C. rotundus*, *C. sphacelatus*, *C. tremulus*, etc. *Cyperus* se distingue par des fleurs hermaphrodites regroupées de façon distique (alternant régulièrement en deux rangs parallèles) en épillets allongés, disposés en une

inflorescence plus ou moins composée et proche d'une ombelle (Jauzein, 1996). La famille est monophylétique (Judd et al., 2002) mais les systèmes de classification basés sur des caractères morphologiques diffèrent encore (Heywood, 1996).

Suivant la forme des feuilles, les espèces du genre *Cyperus* peuvent être réparties en deux groupes (Durand et Lévêque, 1980) :

- les espèces à feuilles développées : elles sont électivement rencontrées dans les écosystèmes humides aux eaux permanentes et peu profondes. On peut citer *C. exaltatus*, *C. digitatus*, *C. difformis*, *C. esculentus*, etc.

- les espèces sans feuilles développées : ce groupe est représenté par des espèces dont les feuilles sont réduites à des gaines brunâtres à la base de la tige. On peut citer : *C. papyrus*, *C. haspan* (qui peut produire un substitut de sel), *C. articulatus*, etc.

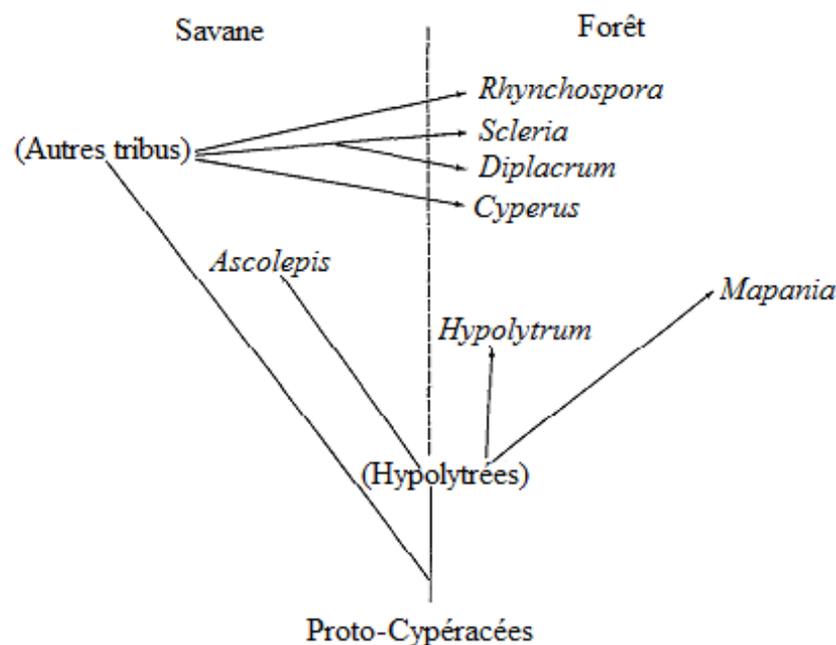


Fig. 6. Distribution des *Cyperaceae* entre la forêt et la savane (en Côte d'Ivoire) (Lorougnon, 1972).

I-4-9- GENERALITES SUR *Cyperus papyrus*

I-4-9-1- Position taxonomique

Communément appelée « *Papyrus* » ou « fleur », *C. papyrus* est une herbe pérenne de type C₄ qui appartient à la famille des *Cyperaceae*. Sa position systématique est la suivante :

- embranchement : Phanérogames
- sous-embranchement : Angiospermes
- classe : Monocotylédones
- ordre : Cypéales
- famille : *Cyperaceae*
- genre : *Cyperus*
- espèce : *Cyperus papyrus*

I-4-9-2- Appareil végétatif

C. papyrus est une herbe haute d'environ 4 m (Durand et Lévêque, 1980). Les organes constitutifs de l'appareil végétatif montrent un important rhizome rampant, les racines latérales et les tiges vertes, épaisses, spongieuses se terminant par une gerbe de rameaux fins et souples à l'extrémité desquels se trouvent les inflorescences (Fig. 7). En général, *C. papyrus* présente un appareil végétatif complexe (Tableau VIII).

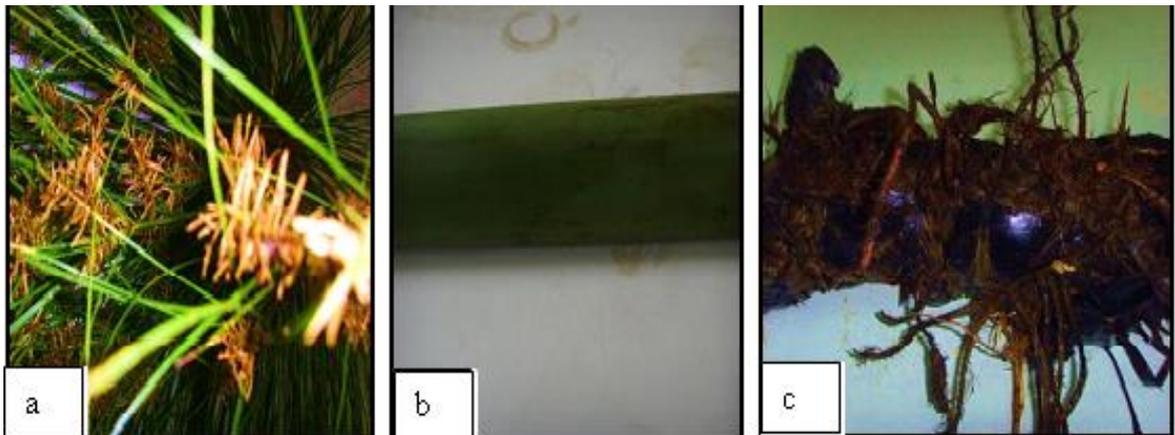


Fig.7. Différents organes de l'appareil végétatif de *C. papyrus*. a : ombelles et fleurs ; b : tige ; c : rhizome et racines.

I-4-9-3- Distribution géographique et écologie

I-4-9-3-1- Distribution géographique

C. papyrus est une espèce cosmopolite mais se trouve davantage dans les régions humides ou marécageuses des zones subtropicales et tropicales (Heywood, 1996 ; Tsama Njitat, 2006). L'aire africaine de répartition de *C. papyrus* est assez large mais

discontinue. Elle couvre une quinzaine de pays et s'étend de l'Égypte à l'Angola, et du Nigéria au Kenya (Muthury et Jones, 1997 ; Mamdouh, 2003 ; Bakari et al., 2007 ; Owino, 2007) (Fig.8.).

Tableau VIII. Principales caractéristiques morphologiques de *C. papyrus* (Durand et Lévêque, 1980).

Organes	Caractéristiques
Feuilles	Petites, engainantes et fugaces
Bractées	Situées à la base de l'ombelle
Inflorescence	Grosse ombelle
Gerbes de rameaux	Rameaux fins souples portant d'autres rameaux au milieu desquels se développent les inflorescences
Tige	Plus de 4 m de hauteur, spongieuse, à section triangulaire et grêle de couleur verte
Rhizomes	Tiges souterraines à croissance horizontale, souvent charnues et portant des feuilles écailleuses ; le rhizome s'accroît par un bourgeon terminal tandis qu'à l'autre extrémité ses parties plus âgées se décomposent ; il se ramifie et assure la multiplication végétative
Racines	Fasciculées et latérales ; les racines ont généralement la même vigueur
Rejets	Apparaissant du même côté

I-4-9-3-2- Ecologie

Communément appelé *Papyrus* ou *Cyperus* égyptien, *C. papyrus* est une plante semi-aquatique qui se développe préférentiellement dans les marais permanents et eutrophes (Durand et Lévêque, 1980). Il est originaire des zones tropicale et subtropicale (Simpson et Inglis, 2001). La plante se développe sur les rives du Nil où elle forme les radeaux flottants (Durand et Lévêque, op. cit.). L'acidité du milieu constitue le principal facteur pour son installation (Muthuri, 1985 ; Fonkou, 1996 ; Muthuri et Jones, 1996). En effet, sa forte capacité d'échange ionique lui permet de capter efficacement les nutriments présents dans l'eau, un échange d'ions H⁺ acidifiant ainsi le substrat (Muthuri et Jones, 1997). *C. papyrus*

joue donc un rôle très important dans la disponibilité des nutriments, influençant l'ensemble des conditions environnementales des marécages. Les populations de *C. papyrus* sont même considérées comme des ingénieurs écologiques de cet écosystème (Kipkemboi et al., 2002 ; Morrison et Harper, 2009). La décomposition de *C. papyrus* est lente, ce qui favorise l'accumulation de la matière organique sous forme de mor.

En général, l'installation de *C. papyrus* et sa progression sont liées aux activités anthropozoogènes telles que le rejet dans le milieu de polluants organiques et industriels (Muthury, op. cit.). Il peut à ce titre être considéré comme une plante rudérale du fait de son développement dans les stations ensoleillées et enrichies en azote et phosphore organiques.

I-4-9-4- Intérêt socio-économique de *C. papyrus*

De nombreux intérêts socio-économiques sont reconnus à *C. papyrus* dans le monde. Une étude socio-économique menée sur *C. papyrus* au Kenya montre qu'il est utilisé en tapis ou natte (52 %), fourrage (47,1 %), toiture (23 %) et combustible (2,8 %) (Taita et al., 2012). Il est par ailleurs utilisé dans la production de la pâte à papier (Thompson, 1976 ; Muthuri et Jones, 1997), la production des biocarburants de deuxième génération (Jones, 1983), l'alimentation (Levêque, 1980), l'épuration des eaux usées domestiques et industrielles (Fonkou et al., 2005 ; Tsama Njitat, 2006 ; Kengne et al., 2008) et l'ornementation. Les extraits du rhizome de *C. papyrus* sont aussi utilisés en médecine pour relever l'asthénie sexuelle (Taita, op. cit.).

I-4-9-5- Effets écologiques de *C. papyrus*

La question des peuplements de *C. papyrus* est de celle qui suscite des opinions tranchées, que ce soit pour ou contre, et les arguments avancés tant par les partisans que par les adversaires de *C. papyrus* sont souvent fondés sur des préjugés plutôt que sur un examen objectif des faits.

I-4-9-5-1- *C. papyrus* : plante nuisible

Bien qu'il soit parfois fait référence à certains de ses aspects positifs, *C. papyrus* est toujours considéré comme une "peste majeure" qu'il faut impérativement combattre. En effet, l'expansion des populations de *C. papyrus* dans les marécages suscite des discussions entre les environmentalistes. Tandis que les premiers considèrent les aspects positifs des populations de *C. papyrus* dans l'épuration des eaux usées domestiques et industrielles (Kipkemboi et al., 2002 ; Kengne et al., 2008), l'accumulation des métaux lourds (Fonkou et

al., 2005) et plus récemment dans le stockage du carbone (Saunders et al., 2005) ; les seconds reprochent à ces populations la suppression de la végétation et la réduction de la biodiversité locale en général. Aussi, des recherches scientifiques visant à caractériser leur incidence sur l'environnement s'avèrent nécessaires. C'est ainsi que les chercheurs, dans leur immense majorité, considèrent *C. papyrus* comme une peste qu'il faut éradiquer, ou à tout au moins dont il faut réduire drastiquement le pouvoir compétitif. Bien entendu, ces considérations montrent la nécessité de disposer des connaissances sur l'autoécologie de *C. papyrus*.

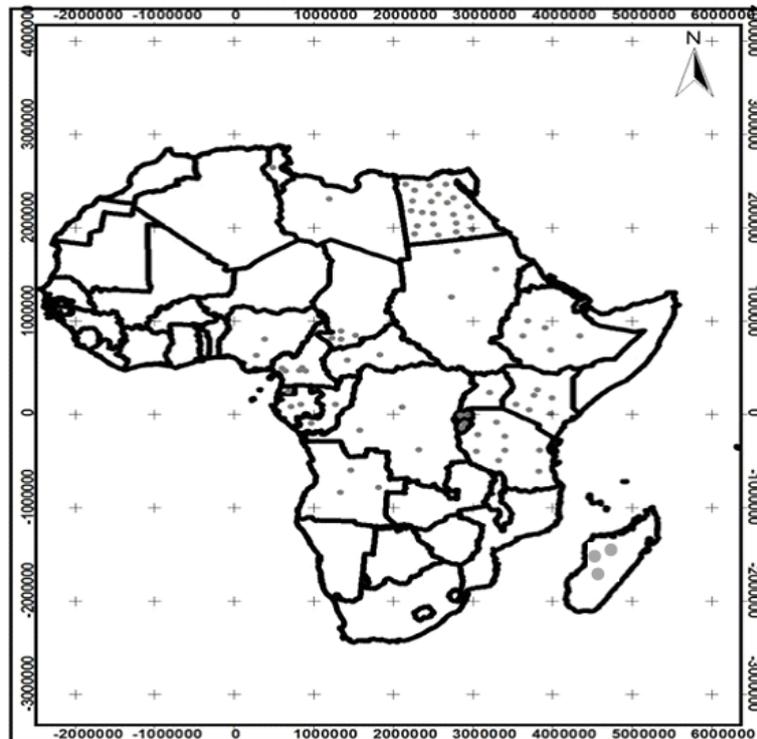


Fig. 8. Aire de distribution naturelle de *C. papyrus* en Afrique (Muthuri et Jones, 1997 ; Mamdouh et Serag, 2003 ; Bakari et al., 2007 ; Owino, 2007).

I-4-9-5-2- *C. papyrus* : grande productrice de matière organique

Les populations de *C. papyrus* ont fait l'objet de diverses études à travers le monde, que ce soit en relation avec le traitement des boues de vidange (Tsama Njitat, 2006), l'épuration des eaux usées agro-industrielles (Fonkou, 2007), l'absorption d'éléments minéraux en relation avec leur disponibilité dans les sédiments (Kenfack Voukeng, 2009) ou en relation avec les potentialités de stockage du carbone (Muthuri et al., 1989 ; Mamdouh, 2003 ; Bakari et al., 2007 ; Taita et al., 2012). Ces derniers auteurs soulignent que *C. papyrus* est une excellente plante de couverture, en ce sens qu'il restitue au sol une énorme quantité de matière organique qui améliore sa structure (Muthuri, 1985). Tout comme sa distribution, la

production et l'accumulation de la matière organique par *C. papyrus* sont influencées par le gradient de microtopographie ainsi que par la profondeur de la nappe phréatique (Muthuri, 1985 ; Taita et al., 2012). L'accumulation de la matière organique est définie en fonction de la proportion entre la biomasse produite par les plantes et celle perdue par les processus de décomposition (Wieder et Lang, 1983). Sous climat humide, cette matière organique empêche le lessivage des éléments minéraux en limitant les mouvements descendants de l'eau dans le sol (Mamdouh, 2003).

Contrairement à *C. difformis* et *C. haspan* qui sont des plantes à métabolisme C₃, *C. papyrus* est une plante à photosynthèse C₄ (Hopkins et Hüner, 2007). A ce titre, il a une vitesse de croissance plus élevée et une meilleure efficacité d'utilisation d'eau que les plantes de type C₃. Ces caractéristiques tant morphologiques, anatomiques que physiologiques rendent cette plante plus compétitive.

La quantité de matière sèche produite par unité d'azote et de phosphore est donc supérieure. La sensibilité à la température est aussi différente puisque la température optimale des C₄ se situe au-dessus de 32 °C et celle des C₃ en dessous de 27 °C. Toutes ces caractéristiques écologiques mettent en évidence le fait que l'affinité pour le CO₂ est plus élevée chez *C. papyrus* (Jones, 1992 ; Rowan et al., 1999 ; Ghannoum et al., 2000).

En considérant ces divers facteurs écologiques, Bakari et al. (2003) ont montré que la productivité de *C. papyrus* varie entre 48 et 143 t ha⁻¹ an⁻¹ dans les marécages de l'Afrique australe. Par contre, en Afrique centrale et notamment au Cameroun, aucune étude approfondie sur *C. papyrus* en rapport avec le stockage du carbone n'a encore été effectuée sur des superficies importantes. En se référant aux travaux de Sonwa (1992) et Kenfack Voukeng (2009), il apparaît que l'estimation des stocks de carbone dans les marécages à *C. papyrus* de Yaoundé a été à peine abordée. Pourtant les populations de *C. papyrus* améliorent les propriétés organo-minérales des sols hydromorphes. Autrement dit, en plus de contribuer à la lutte contre l'effet de serre, les peuplements de *C. papyrus* offrent d'autres bénéfices environnementaux au rang desquels la protection des sols contre l'érosion, la régulation du cycle et de la qualité de l'eau et l'accroissement de la teneur en matière organique qui détermine une série de propriétés (stabilité de la structure, capacité d'échange cationique) et un accroissement de l'activité biologique (en particulier de la faune).

I-4-9-5-3- *C. papyrus* : plante épuratrice des eaux usées

Bien que la littérature scientifique concernant *C. papyrus* soit abondante, il apparaît que l'essentiel des publications traite de la lutte contre la pollution par *C. papyrus*. En effet, de nombreux travaux effectués sur *C. papyrus* montrent qu'il concourt à l'élimination des polluants à travers des effets physiques ou biologiques (Gaudet, 1977 ; Sonwa, 1992 ; Muthuri et Jones, 1996 ; 1997 ; Kengne et al., 2008 ; Kenfack Voukeng, 2009).

Les effets physiques de *C. papyrus* dans l'épuration des eaux usées consistent en la réduction de la vitesse d'écoulement des eaux, ce qui favorise une meilleure sédimentation des particules en suspension et limite les risques d'érosion.

Cette plante atténue également la luminosité, freinant ainsi le boom algal (Kengné, 2000). Par ailleurs, les racines de *C. papyrus* constituent des surfaces d'attache pour les micro-organismes responsables de la dégradation des polluants (Tableau IX).

Par son métabolisme (absorption des nutriments, libération d'oxygène), *C. papyrus* affecte favorablement les processus d'épuration. La capacité d'absorption varie entre 50 et 150 kg de phosphore / ha / an et 1000 à 2500 kg d'azote / ha / an (Kengne, op. cit.). L'absorption de ces nutriments favorise la croissance et la reproduction de la plante.

Tableau IX. Principaux rôles des macrophytes dans l'épuration des eaux usées (Kengne, 2000).

Partie de la plante	Rôle dans le processus de traitement
Partie émergée (feuilles et tiges)	Diminution de la luminosité Stockage des nutriments Biofiltre naturel des odeurs Réduction de la vitesse du vent Réduction du transfert de gaz et chaleur entre l'atmosphère et l'eau
Partie enfouie dans le substrat (racines et rhizomes)	Stabilisation de la structure du substrat (réduction de l'érosion) Libération de l'oxygène photosynthétique Excrétion des substances bactéricides Absorption des nutriments Réduction de la vitesse de l'eau

I-4-10- MILIEU PHYSIQUE

I-4-10-1- Facteurs climatiques

Le climat, selon l'Organisation Météorologique Mondiale, est la synthèse des conditions météorologiques dans une région donnée, caractérisée par les statistiques à long terme des variables de l'état de l'atmosphère. Il joue un rôle essentiel dans la répartition des végétaux et des animaux et dans la formation des sols, par le jeu de l'altération des matériaux géologiques et de la décomposition ou de la conservation de la matière organique. Les éléments atmosphériques en question sont pour l'essentiel: l'humidité relative de l'air, les précipitations, la pression atmosphérique, la température, les vents, l'insolation et la photo-périodicité.

Les marécages de Yaoundé, comme tout écosystème, sont sous l'influence d'un certain nombre de facteurs aussi bien biotiques qu'abiotiques qui régissent leur dynamique et leur fonctionnement (floraison, accumulation de carbone, etc.).

I-4-10-1-1- Précipitations et températures de la région de Yaoundé

La région de Yaoundé appartient au plateau-Sud camerounais (Vallerie, 1995). Elle présente les coordonnées suivantes : latitude 3°52' N ; longitude 11°32' E ; altitude moyenne 750 m. Cette région a fait l'objet de plusieurs études climatologiques parmi lesquelles figurent celles d'Olivry(1986). De ces études, il ressort que la hauteur de précipitations inter-annuelles de Yaoundé est généralement comprise entre 1536 et 1666 mm. Le climat y est influencé par le relief qui est en effet dominé par de nombreuses collines (Monts Eloumden, Mbam Minkom, etc.).

Le climat de la région de Yaoundé appartient à un vaste domaine climatique à quatre saisons, caractérisé par un climat équatorial de transition septentrionale, du domaine guinéen de type continental (Suchel, 1987). Auparavant, pour Suchel (cit. Amougou, 1987), la région de Yaoundé appartenait au climat équatorial, de domaine guinéen classique, de type continental. Suchel (op. cit.) découpe ce climat en quatre saisons, à savoir : une grande saison des pluies (septembre-novembre), une grande saison sèche (décembre-mars), une petite saison des pluies (avril-juin) et une petite saison sèche (juillet-août).

L'analyse du diagramme ombrothermique (Fig.9.) indique que la courbe des températures est relativement droite et horizontale. Cette tendance met en exergue la constance de la température au cours de l'année. Lorsque cette courbe des températures est au-dessus de celles des précipitations, on observe une période biologiquement sèche, qui

correspond dans le cadre du présent travail aux mois de décembre, janvier et février. Ces trois mois coïncident avec la grande saison sèche.

Les précipitations, pour leur abondance et leur irrégularité inter-annuelle ainsi que pour leur distribution dans l'année, dépendent avant tout de l'activité des grands centres d'action météorologique. Au cours des trois années d'observations sur le terrain (de juillet 2007 à juillet 2010), les données sur les précipitations nous ont été fournies par la Station météorologique de la base aérienne de Yaoundé (Tableau X). On observe une chute des précipitations annuelles durant la dernière année d'étude. En général, dans les conditions naturelles, la répartition des précipitations est fortement influencée par l'orographie. Les données météorologiques obtenues ont permis d'obtenir des informations sur le fonctionnement des communautés marécageuses étudiées.

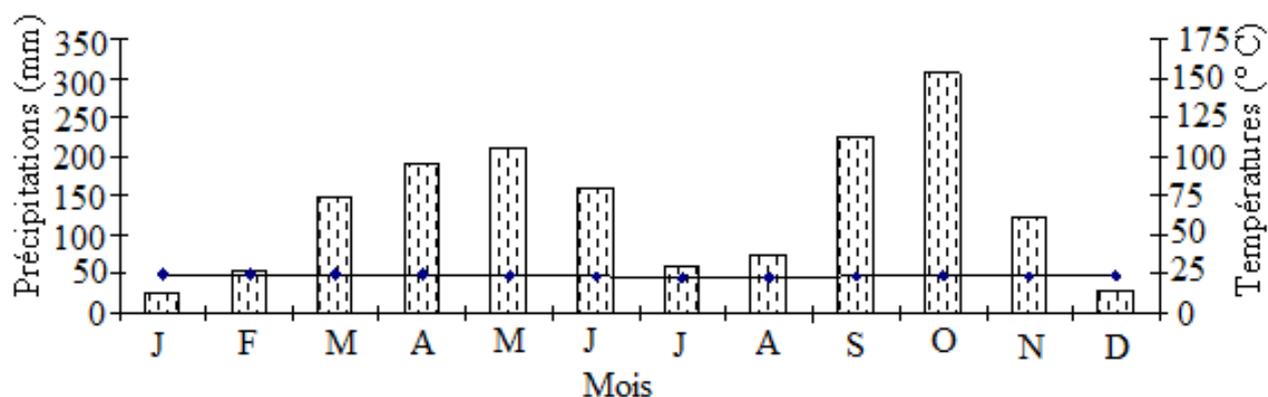


Fig.9. Courbe ombro-thermique de la région de Yaoundé et ses environs.

Précipitations

 Températures

Tableau X. Répartition des précipitations mensuelles (mm) de la région de Yaoundé durant la période d'étude (juillet 2007 – juillet 2010), base aérienne de Yaoundé.

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Total annuel
2007 - 2008	90,01	143,06	253,30	202,33	103,29	26,09	17,09	25,88	126,01	167,07	205,93	195,60	1555,66
2008 - 2009	94,6	136,4	275,13	201,64	102,14	24,25	16	24,4	127	162,12	203,04	188,76	1555,48
2009 - 2010	93,78	131,89	216,91	219,10	102,98	23,35	16,73	24,15	122,72	165,39	208,66	173,55	1499,21

I-4-10-2- Insolation

I-4-10-2-1- Insolation dans la région de Yaoundé

L'insolation correspond à l'action des radiations solaires qui frappent un objet. En effet, la lumière joue un rôle important, car les variations de son intensité et de la composition de son spectre influencent la dynamique, la croissance, la floraison et la reproduction au sein d'un écosystème, et indirectement la productivité (Puig, 2001). Outre l'effet lumineux, les rayons solaires ont aussi un effet énergétique et calorifique et déterminent la répartition des températures dans le temps et dans l'espace à la surface de la Terre. La quantité d'énergie reçue en un lieu donné varie selon les saisons et la latitude.

La mesure de la durée de l'insolation en réseau est récente au Cameroun (Olivry, 1986). Cet auteur indique que l'insolation annuelle de la région de Yaoundé se situe autour de 1645 h (Tableau XI).

Le maximum d'insolation se situe pendant la grande saison sèche, notamment en décembre, janvier et février. Les plus faibles valeurs d'insolation sont obtenues en juillet et août qui correspondent à la petite saison sèche. Olivry (op. cit.) attribue cette chute d'insolation à la nébulosité qui réduit l'ensoleillement et peut accentuer une certaine saisonnalité. Pendant la grande et la petite saison des pluies, l'insolation s'intensifie dans la région de Yaoundé. Cette tendance générale a été observée pendant la période du présent travail (Tableau XII).

Tableau XI. Répartition des moyennes de l'insolation à Yaoundé sur une période de 28 ans (Olivry, 1986). Ces données correspondent à la période allant de 1958 à 1986.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Moyennes mensuelles de l'insolation (h)	178	172	154	151	152	116	85	84	100	122	156	175	1645

Tableau XII. Répartition de l'insolation mensuelle à Yaoundé durant la période d'étude (juillet 2007 – juillet 2010). Source : Station météorologique de la base aérienne de Yaoundé.

Années	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Total annuel
2007 - 2008	94,6	91,4	103,5	126	157,3	168,9	172,2	164,7	167,7	168,1	163,8	129,5	1707,7
2008 - 2009	95,01	91,2	102,67	126,45	156,87	168,26	177,6	171,21	168,15	168,63	163,87	129,79	1719,71
2009 - 2010	95,01	91,21	103,5	126,33	157,54	168,7	177,6	171,2	168,12	168,4	163,7	129,67	1720,98

I-4-10-3- Hydrographie

I-4-10-3-1- Hydrographie dans la région de Yaoundé

La région de Yaoundé est située sur la ligne de partage des eaux de la Sanaga au Nord et du Nyong au Sud. Cette région est drainée par une multitude de cours d'eau dont le parcours forme un réseau hydrographique essentiellement dendritique. La morphologie de celui-ci semble emprunter les fractures du socle ancien (Kuété, 1977 ; Feudjou Mvuh, 1988).

La région de Yaoundé est principalement arrosée par la Mefou. Elle prend sa source sur le flanc oriental du massif de Mbam-Minkom au Nord et collecte respectivement les eaux de ses nombreuses ramifications à confluence sub-orthogonale. Dans la région étudiée, les plus importantes ramifications sont représentées par le Mfoundi, Anga'a, Biyéme et Nsa'a.

I-4-10-4- Sols de la région de Yaoundé

Le sol est défini comme « une couche superficielle de terre ferme, plus ou moins tendre et friable de la roche-mère sous-jacente, sous l'influence des agents physico-chimiques et biologiques » (Vallerie, 1995). Le sol peut aussi être défini comme la partie supérieure et meuble du soubassement rocheux, altérée par l'action combinée des agents atmosphériques et des êtres vivants (Puig, 2001). Il est constitué d'éléments solides (minéraux, matière organique), liquides (ou solution du sol) et gazeux (ou atmosphère du sol). Le sol remplit trois principales fonctions : une fonction physique (support des racines), une fonction chimique (nutrition hydro-minérale des plantes) et une fonction biologique (milieu de vie pour de nombreuses espèces animales et végétales).

En milieu tropical humide, la pédogénèse est accélérée sous l'action de trois facteurs principaux : la dégradation mécanique de la roche mère ; l'altération chimique ; l'activité biologique (Puig, 2001).

La caractérisation des sols dans les régions de Yaoundé permet en général de les regrouper en trois grandes classes (Njiké Ngaha, 1984 ; Yongue, 1986 ; Onguéné Mala, 1993 ; Vallerie, 1995):

- les sols ferrallitiques ou oxisols : ces sols, d'épaisseur importante (jusqu'à 50 m), sont localisés au niveau des interfluves. Développés sur différents types de roches granitiques ou granitoïdiques, ces sols sont formés de matériaux constitués par un assemblage d'argile (kaolinite), d'oxyhydroxydes et d'oxydes de fer (goethite, hématite) et d'aluminium (gibbsite).

- les sols hydromorphes : se rencontrent dans les bas fonds et les vallées. Ils correspondent à deux types principaux, à savoir les sols hydromorphes organiques, qui sont caractérisés par une accumulation en surface de matière organique peu décomposée (souvent 20 % en masse de l'horizon de surface), riche en débris végétaux divers, et les sols hydromorphes minéraux qui occupent les petites vallées. Le niveau de la nappe phréatique y est souvent très élevé pendant toute l'année, le sol ne sèche presque jamais et la transformation des composés organiques est très lente.

- et les sols peu évolués : ne sont pas répandus dans les zones d'étude, ils se trouvent en effet sur les massifs montagneux et les talwegs à pente forte.

Globalement, la décomposition de la matière organique s'opère différemment selon les conditions de température, de pH, d'abondance d'oxygène. Il existe en effet, des interrelations entre les paramètres écologiques et la matière organique (Ferry, 1994). Ainsi, le pH et la charge minérale du sol sont susceptibles de varier en fonction de la pluviosité et des apports de litière.

I-4-10-5- Couverture végétale la région de Yaoundé

La forêt tropicale humide actuelle est schématiquement composée de trois blocs forestiers principaux : le bloc forestier africain ; auquel appartient la région de Yaoundé ; le bloc forestier américain et le bloc forestier du Sud-est asiatique (Puig, 2001). Ces blocs se comportent de façon indépendante en fonction des conditions locales du milieu, qui amplifient ou atténuent, selon les cas, les variations climatiques générales.

Au sens de Letouzey (1985), la région de Yaoundé appartient au secteur forestier semi-caducifolié (Fig. 10).

Le secteur de forêt dense humide semi-décidue correspond à la « drier peripheral semi-evergreen Guineo-congolian rain forest de White (1992) ». Il se caractérise, selon Villiers

(1981), par sa physionomie (quelques espèces sont défoliées en même temps pendant plusieurs semaines) et par sa composition floristique où se révèle l'importance des *Sterculiaceae* (*Cola altissima*, *C. lateritia*, *C. gigantea*, *Mansonia altissima*, *Nesogordonia papaverifera*, *Pterygota kamerunensis*, *P. Macrocarpa*, *Sterculia bequaertii*, *S. rhinopetala*, *Triplochiton scleroxylon*) et aussi des *Ulmaceae* (*Celtis adolfi-friderici*, *C. durandii*, *C. mildbraedii*, *C. philippensis*, *C. zenkeri*, *Holoptelea grandis*).

La prééminence des *Celtis* dans ce secteur est soulignée par Aubréville (1962). Pour ce dernier, ces espèces se rencontrent encore dans la zone de transition entre forêts semi-décidues et forêts sempervirentes.

Cette forêt possède un dynamisme remarquable lui permettant de s'étendre vers le Nord en gagnant largement sur les savanes périforestières non cultivées et non brûlées, également vers le Sud en s'insinuant dans les trouées (cultures) pratiquées en forêt sempervirente. *Austranella congolensis* (*Sapotaceae*), *Gossweiledendron dewevrei* (*Caesalpinaceae*), *Kaeyodendron bridelioides* (*Euphorbiaceae*), *Terminalia superba* (*Combretaceae*) et *Piptadeniastrum africanum* (*Mimosaceae*) représentent les éléments dynamiques de cette forêt, souvent rencontrées très loin vers le sud-Ouest (Letouzey, 1979).

Dans ce faciès de dégradation, se rencontrent les herbacées de grande taille appartenant à des *Marantaceae*, des *Zingiberaceae* et des *Costaceae* dont les espèces se développent sous un ombrage léger.

Il apparaît quelques groupements saxicoles (Mousses, Lichens, Algues, *Cyperaceae*, *Poaceae*) qui se développent sur des collines et inselbergs sur sols nus.

Les Raphiales à *Raphia mumbutorum* occupent les bas-fonds des vallées et se composent des *Araceae*, *Euphorbiaceae*, etc. En effet ces bas-fonds sont des milieux très dynamiques et par conséquent riches en biodiversité végétale. On peut y distinguer deux situations du point de vue floristique:

- dans les zones périphériques de la ville de Yaoundé, on a une végétation essentiellement herbacée et arbustive. Parmi les herbacées rencontrées, on trouve : *Costus afer* (*Costaceae*), *Commelina benghalensis* (*Commelinaceae*), *Dissotis erecta* (*Melastomataceae*), *Hydrolea glabra* (*Hydrophylaceae*), *Palisota hirsuta* (*Commelinaceae*), *Triumfetta cordifolia* (*Tiliaceae*), etc. La flore arbustive concerne *Alchornea cordifolia* (*Euphorbiaceae*), *Anthocleista schweinfurthii* (*Loganiaceae*), *Mitragyna stipulosa* (*Rubiaceae*), *Macaranga assas* (*Euphorbiaceae*), *Raphia monbuttorum* (*Palmae*), etc. ;

- dans les zones urbaines et péri-urbaines, la végétation est herbacée ; les espèces observées sont : *Acroceras zizanoïdes* (*Poaceae*), *Cyperus papyrus* (*Cyperaceae*), *C. difformis*

(*Cyperaceae*), *C. longibracteatus* (*Cyperaceae*), *Emilia coccinea* (*Asteraceae*), *Paspalum conjugatum* (*Poaceae*), etc. Outre ces plantes rudérales, se rencontrent les plantes cultivées dont *Amaranthus esculentus* (*Amaranthaceae*), *Capsicum frutescens* (*Solanaceae*), *Corchorus olitorus* (*Tiliaceae*), *Hibiscus esculentus* (*Malvaceae*), *Musa* spp. (*Musaceae*), *Solanum macrocarpum* (*Solanaceae*), *Zea mays* (*Poaceae*), etc.

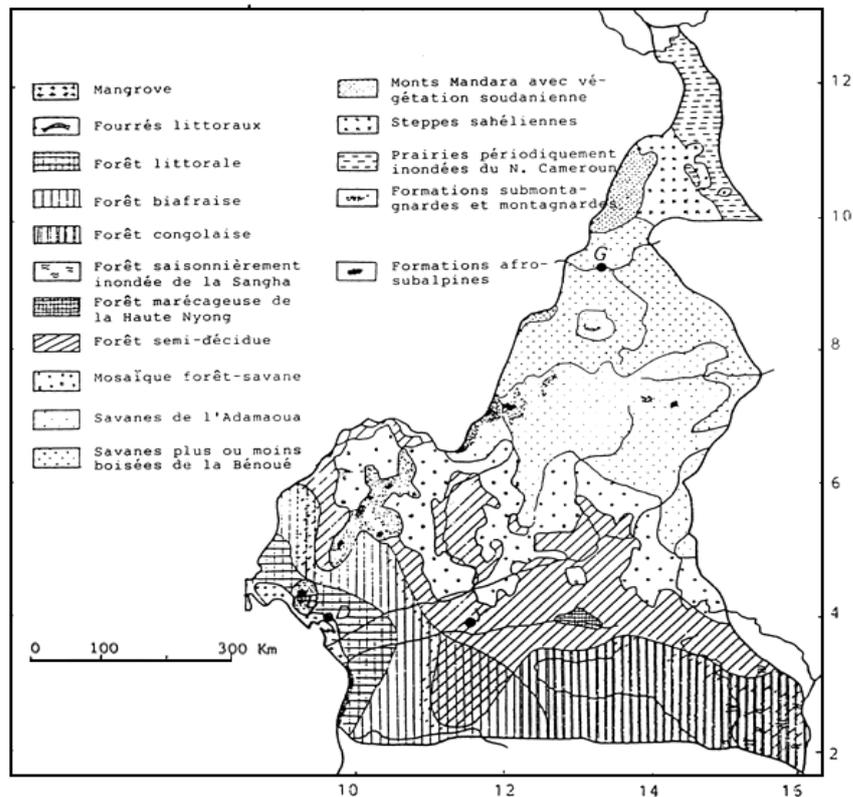


Fig.10. Carte forestière du Cameroun (Letouzey, 1985).

I-4-10-6- Anthropisation dans la ville de Yaoundé et ses environs

L'impact de l'Homme sur l'environnement est manifeste au Cameroun en général, tant en milieu rural qu'en milieu urbain, bien que ce pays soit encore peu industrialisé, et que la densité de population y apparaisse relativement faible avec environ 41,6 habitant / km² (Anonyme, 2010b). De 1976 à 2010, du fait de la croissance démographique et de la stabilité des superficies des régions, les densités de population ont significativement augmenté à Yaoundé en 2010 (Tableau XIII). Ainsi, les travaux portant sur le recensement général de la population camerounaise en 2010 indiquent que la population urbaine est de 3 525 664 à Yaoundé.

Cette population sans cesse galopante exerce une importante pression sur le milieu. En effet, les transformations du paysage sont imputables à deux causes, qui concernent les

exploitations agricoles, la construction des maisons d'habitations, des structures administratives ou d'infrastructures sportives, scolaires, académiques ou culturelles et la densification du réseau routier.

Dans les systèmes aquatiques évoluant en milieu urbain, la diversité des apports anthropiques déséquilibre la balance d'oxygène et altère le potentiel épurateur des charges contaminantes organiques et minérales. Par ailleurs, ces conditions engendrent un état anoxique hautement avancé qui se traduit par un important taux de préservation de la matière organique.

En zone péri-urbaine, les apports allochtones urbains dans les milieux aquatiques se font moins sentir et donc leur action amplificatrice de la pollution ou de l'anoxie se trouve, de ce fait, limitée, comparée aux sites urbains.

Au total, il apparaît donc que les environnements aquatiques des zones étudiées, soumis à l'influence urbaine, développent une situation particulière marquée par une évolution plus rapide vers un état insalubre. Par contre, dès que l'influence urbaine est moins présente à travers des apports plus limités en charges polluantes, la situation dans les bassins aquatiques reste moins dramatique du fait du maintien des principales fonctions biogéochimiques.

Tableau XIII. Evolution des densités de population de Yaoundé de 1976 à 2010 (Anonyme, 2010).

Chefs lieux	Densités (Habitants / km ²)			
	1976	1987	2005	2010
Yaoundé	17,1	24,0	44,9	51,1

CHAPITRE II

MATERIEL ET METHODES

II-1-MILIEU D'ETUDE ET CHOIX DES SITES

Les données ont été collectées à des échelles spatiales différentes suivant les sites : dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* et au sein des marécages dominés par d'autres plantes herbacées du milieu d'étude (Fig.11), afin d'effectuer une analyse comparative des stocks de carbone en fonction de la colonisation des marécages par la végétation.

Les communautés marécageuses à *C. papyrus* retenues devaient réunir les caractéristiques suivantes : être situées dans une zone marécageuse en milieu urbain ou péri-urbain ; présenter différents stades de colonisation des microhabitats (bordures et zones en permanence humides) discriminés selon le gradient d'humidité; être accessibles en toute saison et préservées au maximum de l'influence anthropique. Les bordures ou haut-marais (Leupi, 1994) reçoivent uniquement un approvisionnement en eau pluviale et sont faiblement influencés par la nappe phréatique. Les zones en permanence humides ou bas-marais (Leupi, op. cit.) présentent un excès permanent d'eau de la nappe phréatique et parfois les eaux de ruissellement. Globalement ces deux microhabitats ont été choisis pour maximiser les contrastes dans les différents marécages retenus et dans l'hypothèse que la teneur en eau affecte les stocks de carbone.

Pour les autres types de communautés marécageuses, leur choix a principalement porté sur le type de végétation désigné par l'espèce dominante.

II-2- ECHANTILLONNAGE ET INVENTAIRE

II-2-1- Méthode du transect

La méthode du transect linéaire a été retenue pour l'inventaire des espèces végétales (White, 1992 ; Zapfack et al., 2013). Il consiste à effectuer un relevé sur une distance parcourue. Cette méthode a été utilisée dans de nombreuses études postérieures effectuées en zone tropicale (White, 1992 ; Mbarga Bindzi, 1992 ; Habiyaremye et Roche, 2004 ; Kono, 2007 ; Masharabu, 2010). Elle présente l'avantage de traverser plusieurs zones différentes du point de vue écologique et d'y faire une description qualitative et quantitative rapide de la flore. Dans les communautés marécageuses à *C. papyrus*, 84 transects ont été matérialisés au sein des différents sites: 56 dans l'Etang de la retenue 1 ; 3 dans l'Etang de la retenue 2 ; 1 dans le Lac Municipal ; 6 à Mvan-Ahala 1 ; 5 à Mvan-Ahala 2 ; 3 à Mvan-Ahala 3 et ; 10 transects à Mvan-Ahala 4 (Annexe 7). Ces transects ont une largeur similaire de 5 m et leur longueur varie entre 5 et 70 m. Il est à souligner que le nombre de transects implémentés dans

un site est fonction de son étendue. Les limites de ces transects ont été fixées de manière à éviter les zones de contact entre phytocénoses différentes.

Pour chaque site retenu, les transects orientés de la bordure vers l'intérieur du marécage suivant le gradient floristique ont été installés à l'aide d'une machette. Puis, en fonction de l'étendue du site considéré et de l'importance de recouvrement du milieu par les touffes de *C. papyrus*, au plus trois types de placettes d'observation de 10 m x 5 m (50 m²) ont été délimitées le long des transects. Ces types de placettes sont :

- les placettes faiblement recouvertes « PFR » : elles se reconnaissent par leur richesse en plantes herbacées et un substrat relativement humide. Ce substrat n'est véritablement trempé qu'en saison pluvieuse. Il s'agit en effet du stade pionnier comportant en majorité des individus de *C. papyrus* jeunes et vivant en communauté avec plusieurs espèces rudérales ;

- les placettes moyennement recouvertes « PMR » : ce sont des milieux en cours de colonisation, dominés par les individus de *C. papyrus* moyennement âgés. Dans ces placettes, la richesse spécifique, quoique relativement plus faible, reste assez élevée. Les espèces dominantes concernent *Melastomastrum capitatum* (*Melastomataceae*) et *Zehneria scabra* (*Cucurbitaceae*). La dernière espèce citée s'agrippe sur les tiges et les ombelles de *C. papyrus* ;

- les placettes entièrement recouvertes « PER » : elles représentent des stades adultes, comportant une densité maximale de touffes de *C. papyrus* ; ces placettes sont très pauvres en espèces végétales. Le substrat est dans cette situation en permanence humide, même en saison sèche. Dans ces « PER », l'existence de légères dépressions facilite l'accumulation de la matière organique.

L'inventaire floristique a été fait au sein de chaque type de placettes (PFR, PMR et PER), dans le souci de se faire une idée de la composition floristique des marécages à *C. papyrus*.

Dans le cadre de la présente étude, 224 types de placettes (Tableau XIV) réparties dans les différents marécages sous étude ont été délimitées. La surface totale des placettes sous étude est de 1,12 ha (soit un taux de couverture de 62,57 % de l'aire du travail) dont 0,42 ha pour les PFR ; 0,365 ha pour les PMR et 0,335 ha pour les PER. Dans l'ensemble des sept communautés marécageuses à *C. papyrus* de la ville de Yaoundé et ses environs, 124 et 100 placettes de 50 m² ont été délimitées en zones en permanence humides et en bordures respectivement. Il a donc été question d'un échantillonnage stratifié dans l'ensemble des situations.

Dans les autres types de communautés floristiques, les superficies sont variables. Leur suivi s'est aussi déroulé pendant les trois ans de la présente étude dans le souci d'effectuer une comparaison entre leurs stocks de carbone et ceux des marécages à *C. papyrus*. Les marécages pris en compte sont ceux dont la végétation dominante est herbacée. Ce critère est présumé pour garantir une meilleure répartition de l'échantillonnage dans la zone d'étude. Sur la base des espèces dominantes, on a recensé d'une part les marécages à *Echinochloa pyramidalis* (*Poaceae*) et les marécages à *Cyrtosperma senegalense* (*Araceae*) et à *Rhynchospora corymbosa* (*Cyperaceae*).

II-2-2- Inventaire floristique

Toutes les espèces présentes dans les placettes ont été inventoriées. Les récoltes des échantillons d'herbier concernent principalement les espèces indéterminées. Mis à part les problèmes d'accessibilité, l'une des difficultés majeures que présente cette étude est sans aucun doute l'identification des espèces.

Les espèces non identifiées sur le terrain ont été récoltées, pressées et conservées en vue d'une identification ultérieure à l'Herbier National du Cameroun.

Tableau XIV. Répartition du nombre de placettes dans les différents sites d'observations. ER : Etang de la Retenue ; LM : Lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala ; PFR : Placettes faiblement recouvertes ; PMR : Placettes moyennement recouvertes ; PER : Placettes entièrement recouvertes.

Sites Type de placette	ER1	ER2	LM	MA1	MA2	MA3	MA4	Total
PFR	54	3	2	6	3	4	12	84
PMR	56	1	-	5	5	1	5	73
PER	58	1	-	3	1	1	3	67
Total	168	5	2	14	9	6	20	224

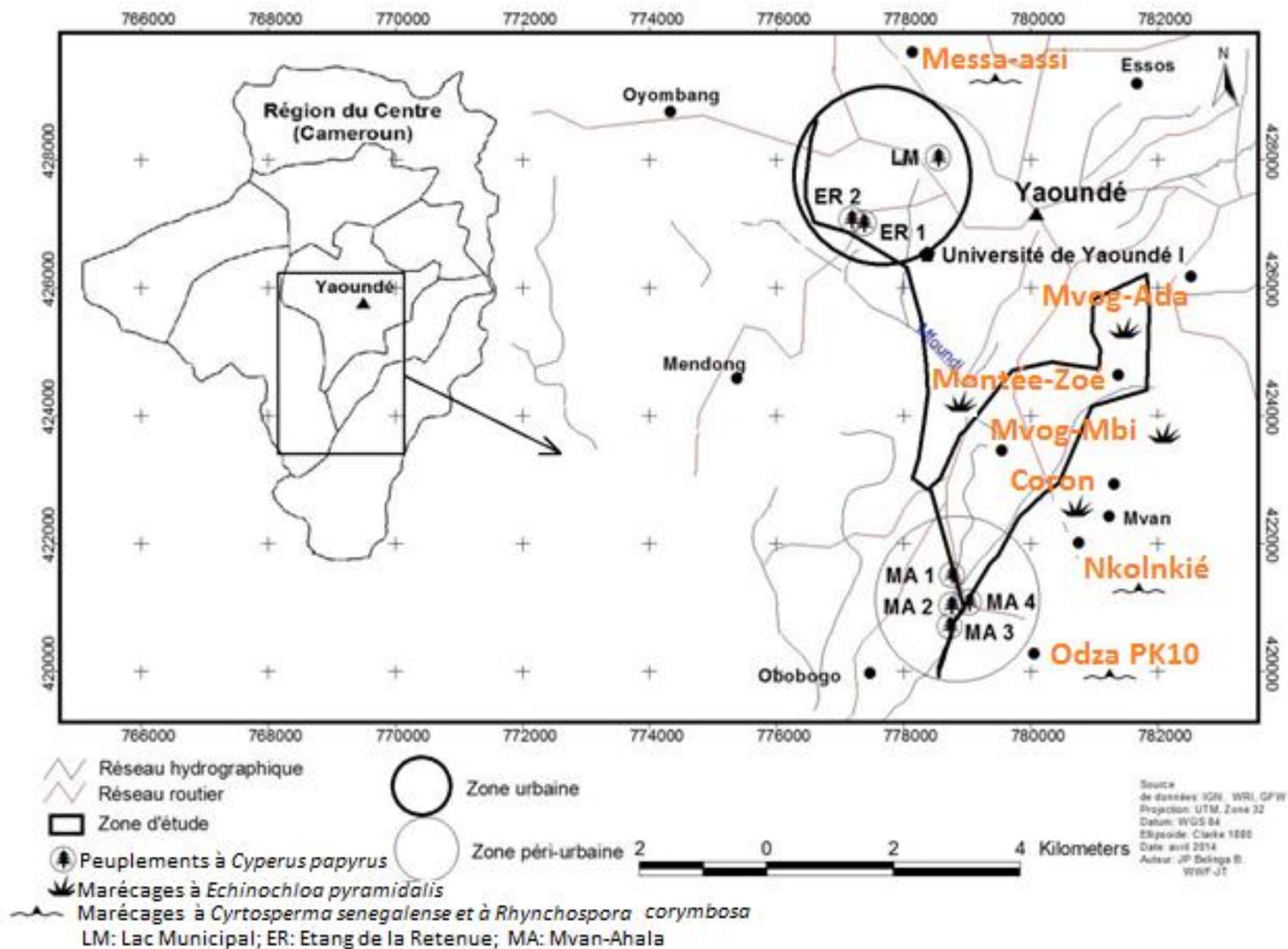


Fig.11. Localisation des sites dans la ville de Yaoundé et ses environs.

II-3- DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

La répartition de *C. papyrus* est intimement liée à l'humidité du sol (Muthuri, 1985 ; Mamdouh et Serag, 2003). Suivant un gradient microtopographique, les placettes de 10 m x 5 m (Fig.13) ont été disposées dans deux types de microhabitats caractérisés par des conditions environnementales spécifiques. Ces microhabitats sont les bordures (BOR) et zones en permanence humides (ZPH). Du point de vue écologique, les bordures ne sont véritablement imbibées d'eau qu'en saison des pluies ; tandis que les eaux sont toujours au-dessus du sol (0-15 cm) dans les zones en permanence humides. Ces microhabitats permettent de tester l'hypothèse de la variabilité spatiale des stocks de carbone dans les marécages de la ville de Yaoundé et ses environs suivant le gradient d'humidité. En effet, chacun de ces microhabitat a un fonctionnement qui lui est propre (hydrologique, dynamique et composition floristique).

Au sein de chaque placette, deux types de carrés ont été disposées ; il s'agit :

- des carrés de suivi (CS) de 2 m x 2 m : à l'intérieur desquels se déroulent le suivi de la dynamique et celui de la phénologie florale de *C. papyrus* (Cadamuro, 1999 ; Mamdouh, 2003). Il est important de souligner que les dimensions de ces carrés ont été retenues de manière à faciliter le prélèvement et le suivi des caractères envisagés ;

- des carrés de récolte (CR) de 1 m x 1 m en s'inspirant des travaux de Saunders et al. (2007), de Fan et al. (2008) et de Fonseca et al. (2011) en zone tropicale humide : ils ont permis d'évaluer la biomasse et la quantité de carbone dans les plantes. Ces CR ont été délimités dans toutes les communautés marécageuses retenues pour la récolte des organes aériens et souterrains.

Pour la réalisation de cette étude, un échantillonnage saisonnier de la MOC de la biomasse a été envisagé dans les différents sites pour éviter des récoltes abusives. Ainsi, 12 CR (de CR₁ à CR₁₂) ont été délimités dans les types de placette en fonction des saisons climatiques (petite et grande saison sèche ; petite et grande saison des pluies) de la zone d'étude (Fig. 12). Ces CR représentent un taux de sondage de la MOC de 24 %. Leur répartition spatiale est la suivante : 1008 CR dans les PFR, 876 CR dans les PMR et 804 CR dans les PER.

II-3-1- Etude structurale de la population de *C. papyrus*

Dans le souci de caractériser la physionomie des populations de *C. papyrus*, les paramètres classiques de structure sont relevés au sein des carrés de suivi. Ces paramètres

concernent le diamètre des individus de *C. papyrus*, évalué au moyen d'un pied à coulisse à 5 cm du sol (Kengne et al., 2008). Des indices biologiques utilisés dans les études de structure des forêts tropicales ont été étudiés afin de comparer les populations des différentes placettes (Rollet, 1974 ; Grouzis, 1988; Akpo, 1993; Mbarga Bindzi, 1992 ; Sonké, 1998 ; Puig, 2001) :

- la densité (D), qui correspond au nombre de tiges (N) / surface de l'inventaire (S) (ha) ; la formule est donnée par la relation : $D = [N/S_{(ha)}]$;

- la surface terrière (ST), qui correspond à Σ de la surface occupée par les tiges (section réalisée à 5 cm) sur une placette (en m²/ha) ; elle s'exprime donc toujours pour une superficie donnée et à partir d'une limite inférieure de diamètre (Puig, 2001). La formule est donnée par la relation :

$ST = \Sigma [\pi d^2 / 4]$; où « d » est le diamètre de la tige.

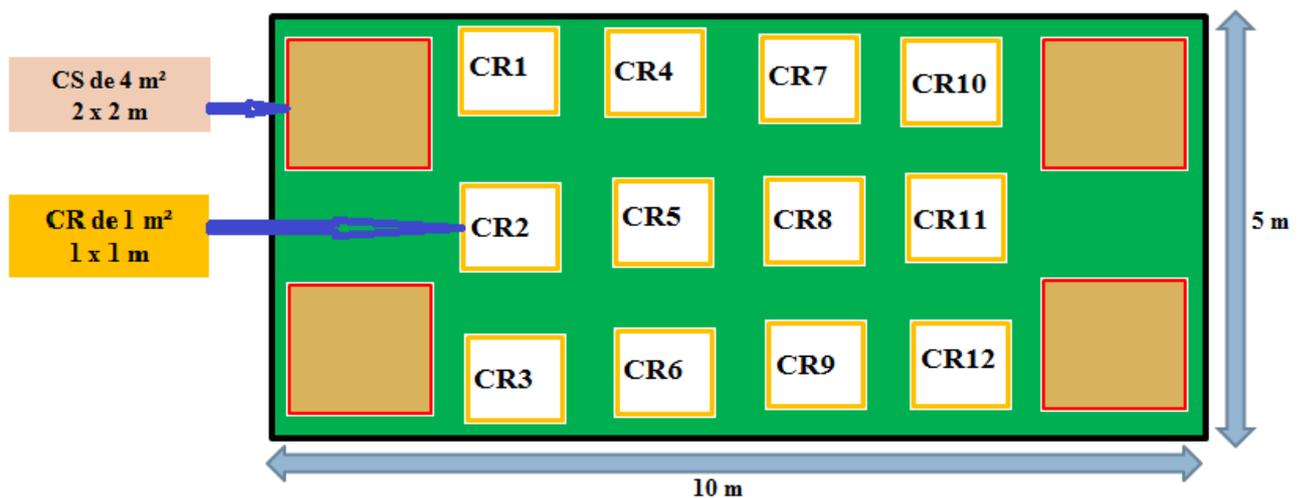


Fig.12. Délimitation d'une placette de 10 m x 5 m dans les marécages à *C. papyrus* et disposition des carrés de suivi (CS) et de récolte (CR).

II-3-2- Suivi de la dynamique et taux de disparition des tiges

Le suivi de la dynamique a consisté au comptage mensuel du nombre de rejets de *C. papyrus*. Cette dynamique de régénération a été envisagée suivant deux aspects:

- la régénération par rejets qui représente la régénération végétative et pour laquelle les nouvelles tiges se reconnaissent par leur position à proximité du pied-mère et par leur organisation en touffes (Muthuri, 1985) ;

- la régénération par semis pour laquelle les individus ont généralement une taille inférieure à 20 cm et leur distance par rapport au pied-mère est relativement considérable.

Chaque rejet du mois en cours repéré est marqué d'une couche de peinture afin d'éviter de le recenser lors de la prochaine campagne d'observations.

Afin d'estimer la mortalité des individus ou des touffes de *C. papyrus* dans les différents marécages, la densité des sites a été déterminée en comptant mensuellement le nombre d'individus vivants ou morts dans les carrés de suivi, ce qui a permis d'obtenir la densité moyenne. La mortalité des tiges (MT) a été obtenue en multipliant par 100 le rapport entre le nombre de tiges mortes (NTM) et le nombre total de tiges (NTT) (Sonko, 1998), selon la formule ci-après : $MT = (NTM / NTT) * 100$

II-3-3- Suivi de la phénologie florale

Comme on a pu le constater en examinant les études antérieures (Grouzis et Sicot, 1980 ; Bibani Mbarga et al., 1998 ; Yalibanda, 1998 ; Faye, 2002 ; Mamdouh, 2003 ; Mbarga Bindzi et al., 2003), les méthodologies utilisées pour étudier la floraison se présentent sous la forme d'un parcours phénologique le long duquel un certain nombre de plantes a été sélectionné. Les observations phénologiques sont alors effectuées sur tout le parcours. Il a donc été décidé d'adopter une méthodologie similaire pour le suivi de la phénologie florale de *C. papyrus*.

En effet, la première phase de prospection a consisté à sélectionner de manière arbitraire tous les individus de *C. papyrus* de diamètre supérieur ou égal à 10 mm installés dans les carrés de suivi. Ensuite les individus retenus ont été marqués d'un double trait de peinture sur la tige. Lors de la visite mensuelle (30 jours), chaque individu marqué est examiné en notant la présence ou non de fleurs et en lui attribuant en cas de floraison, une information quantitative sommaire : « + » pour des fleurs très peu abondantes ; « ++ » pour des fleurs moyennement abondantes ; « +++ » pour des fleurs très abondantes (Mbarga Bindzi et al., 2003).

II-4- QUANTIFICATION DES STOCKS DE C DANS LES PLANTES

II-4-1- Stocks de carbone de *C. papyrus*

Afin de déterminer les stocks de carbone se trouvant dans les organes des plantes, les méthodes couramment utilisées dans la quantification de la biomasse en foresterie ont été adoptées (Mamdouh, 2003 ; Bakari et al., 2003 ; Zapfack, 2004 ; Abdeslam et al., 2005 ; Fan et al., 2007 ; Perbanghem et Polprassert, 2010).

Pour cette étude, la méthode destructive a été utilisée pour obtenir la biomasse mensuelle fraîche et sèche (aérienne et souterraine) des plantes dans les carrés de récolte (Fig. 13). Elle consiste à récolter les organes (aériens et souterrains) des plantes se trouvant dans les carrés de récolte et à mesurer leur hauteur et diamètre. La longueur et le nombre de rayons des ombelles ont aussi été déterminés.

Ensuite l'excavation du sol a permis d'extraire les rhizomes et racines, à raison d'un prélèvement par carré. Une fois ces organes souterrains extraits, le diamètre des rhizomes ainsi que la profondeur de la fosse ont été mesurés.

La biomasse fraîche correspondant à chaque échantillon (ombelle, fleur, tige, rhizome et racine) est pesée sur le terrain pour estimer le poids frais. La biomasse sèche (Fig. 14) est estimée au laboratoire après séchage à 65 °C, pendant 72 heures, jusqu'à poids constant.



Fig.13. Délimitation d'un carré de récolte de 1 m x 1 m pour l'échantillonnage de la biomasse aérienne et souterraine de *C. papyrus*.



Fig.14. Estimation de la biomasse sèche des organes aériens et souterrains de *C. papyrus* au laboratoire. a : feuilles ; b : tiges ; c : rhizomes et racines.

II-4-2- Stocks de carbone des autres taxa

L'estimation des stocks de carbone a aussi été effectuée dans d'autres marécages notamment les marécages à *Cyrtosperma senegalense*(Annexe 5.4. B) et *Rhynchospora*

corymbosa (Annexe 5.4 A) et les marécages à *Echinochloa pyramidalis* (Annexe 5.2). Ces marécages sont les plus représentés dans la ville de Yaoundé et ses environs. Dans ces marécages, l'estimation des stocks de carbone s'est effectuée suivant un protocole similaire à celui décrit pour les marécages à *C. papyrus*. La biomasse totale (aérienne et souterraine) de chaque type de marécage est la somme des biomasses des différentes espèces qui s'y trouvent.

Les stocks de carbone contenus dans les peuplements végétaux sont relativement constants (Prakash et Lodhiyal, 2009). En effet, les publications sur la forêt dense tropicale suggèrent que le carbone constitue entre 45 et 50 % de la matière sèche (Chan, 1982 ; Kotto-Same, 1997 ; Wang et al., 1999 ; Albrecht et Kandji, 2003 ; Prakash et Lodhiyal, 2009 ; Meenakshi et al., 2010 ; Zapfack et al., 2013). Cependant, ces coefficients de conversion de la MS des plantes en carbone ne tiennent pas le plus souvent compte des végétaux de la classe des monocotylédones ainsi que d'organes végétaux tels que les fleurs, les petites racines et les petites feuilles ayant une fonction métabolique (Sarmiento et al., 2005). Ce dernier estime que les petites racines et les fleurs contiennent environ 40 à 45 % de carbone tandis que les tiges et les feuilles des monocotylédones contiennent en moyenne 41 à 46 % de carbone. Pour les rhizomes qui sont des tiges souterraines des Monocotylédones, les taux de 41 à 46 % ont été utilisés dans le présent travail pour estimer les stocks de carbone des rhizomes de *C. papyrus*, *Rhynchospora corymbosa* et *Echinochloa pyramidalis*. Les taux de 41 à 46 % ont aussi été utilisés pour estimer le carbone contenu dans les tubercules de *Cyrtosperma senegalense*. Dans l'ensemble, la quantification des stocks de carbone dans les compartiments séquestrants a été faite à partir des formules ci-dessous (Tableau XV).

Tableau XV. Coefficients de conversion utilisés pour la quantification des stocks de carbone dans les compartiments séquestrants le carbone (Sarmiento et al., 2005).

Compartiments	organes	Formules utilisées(en kg.m ⁻²)
Aérien	Fleurs (Fl)	$C_{Fl} = 0,425 * MS_{Fl}$
	Feuilles (Fe)	$C_{Fe} = 0,435 * MS_{Fe}$
	Tiges (Te)	$C_{Te} = 0,435 * MS_{Te}$
	$CA = C_{Fl} + C_{Fe} + C_{Te}$	
Souterrain	Racines (Ra)	$C_{Ra} = 0,425 * MS_{Ra}$
	Rhizomes (Rh)	$C_{Rh} = 0,435 * MS_{Rh}$
	$CS = C_{Ra} + C_{Rh}$	
Litière	Feuilles et Tiges	$C_{Li} = 0,435 * MS_{Li}$

II-5- ESTIMATION DES FLUX DE LITIÈRE AU SOL

La mesure des flux de litière au sol est faite grâce à des pièges à litière qu'on a fabriqués et installés dans les marécages, suivant la méthode de Hairiah et al. (2010). Le piège est un cadre en bois de 0,5 m x 0,5 m, à fond recouvert de grillage en fer (Fig.15.) et surélevé de 10 cm au moins par rapport au sol à l'aide de piquets en bois.

Dans les communautés marécageuses étudiées, soixante-dix pièges à litière sont installés et leur position à l'intérieur des sites est fonction du type de communautés marécageuses. Ainsi, trente pièges sont installés dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* et les quaranteautres ont été équitablement disposés dans les marécages à *Echinochloa pyramidalis* (*Poaceae*) et les marécages à *Cyrtosperma senegalense* (*Araceae*) et à *Rhynchospora corymbosa* (*Cyperaceae*).

Les feuilles et débris végétaux divers, de même que les tiges mortes couchées qui tombent dans les pièges sont récoltés chaque mois (de juillet 2007 à juillet 2010), puis séchés à l'étuve à 65 °C, pendant 72 heures, jusqu'à poids constant.

Le poids ainsi obtenu par piège et par mois a été ramené à la superficie du type de végétation correspondant à ce piège; un flux de litière mensuel ($\text{g.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$) a ainsi été déterminé pour chacun des marécages étudiés.

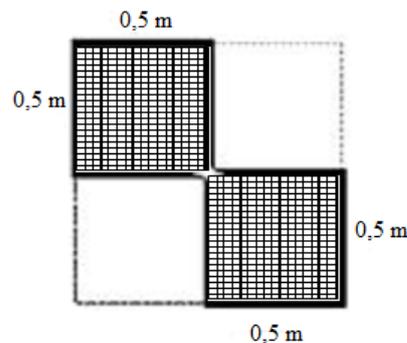


Fig.15. Dispositif d'échantillonnage de la litière dans les marécages de Yaoundé et ses environs.

II-6- ESTIMATION DU STOCK DE CARBONE DU SOL

Dans les différents sites, les échantillons de sol sont prélevés en saison sèche (PSS et GSS) et de pluies (PSP et GSP) de 2007 à 2010 (Annexe 8). Ces échantillons de sols ont permis d'estimer les stocks de carbone organique qui est d'une importance considérable,

notamment en raison de leur rôle en tant que puits de carbone vis-à-vis de l'atmosphère (Bernoux et al., 2002).

Au cours du présent travail, le sol a été prélevé sur 0-30 cm et 30-60 cm de profondeur au niveau des carrés de récolte de 1 m² disposés dans les placettes. Dans chaque placette, douze prélèvements (répétitions intra-placette) ont été effectués au total aussi bien en BOR qu'en ZPH des différents sites. Les sols d'une même profondeur, sur le même microhabitat sont regroupés pour constituer un échantillon composite par saison, par profondeur et par microhabitat. Les échantillons de sols composites obtenus ont été étalés et séchés à température ambiante avant d'être effrités pour obtenir de la poudre. Enfin, une aliquote de 1kg de sol composite de chaque situation a été mise dans un sachet pour les analyses au laboratoire de l'ITTA. Ces analyses ont essentiellement porté sur les caractéristiques granulométriques consistant à la séparation des fractions par tamisages successifs afin d'obtenir les proportions d'argile, limons (fins et grossiers) et sables (fins et grossiers) ; et géochimiques qui ont porté sur la détermination des éléments majeurs par absorption atomique et colorimétrie.

Deux raisons ont guidé le choix des profondeurs de prélèvements de sol. En effet, 0-30 cm représente la profondeur de référence dans les études de sol (Blanchart et Bernoux, 2002 ; Robert et Saugier, 2003 ; Marco et al., 2010) ; tandis que la profondeur 30-60 cm a été retenue en raison de la relative forte densité des racines et des rhizomes de certaines plantes herbacées à coloniser cette profondeur (Pugliese, 1992 ; Mathieu et Pielain, 2003 ; Fan et al., 2007).

Les stocks de carbone au sol ont été calculés à partir de la teneur pondérale en carbone organique (TPC) des échantillons de sol prélevés à 0-30 et 30-60 cm de profondeur et de la densité apparente sèche aux mêmes profondeurs. Pour la détermination de la densité apparente, douze prélèvements de sol au cylindre métallique de 500 cm³ ont été effectués au niveau des carrés de récolte de 1 m² sur deux profondeurs (0-30 et 30-60 cm) dans chaque placette. Dans chaque carré de récolte, un échantillon a été prélevé par profondeur. Ces échantillons de sol ont été séchés à 105 °C pour obtenir la masse sèche (constante). La densité apparente (Da) est donc obtenue à l'aide la formule:

$$Da \text{ (kg. m}^{-3}\text{)} = \text{Poids sec du sol} / \text{volume du sol}$$

La TPC du sol a été faite par voie humide au laboratoire de l'IITA à Nkolbisson, en faisant agir sur les échantillons de sols un mélange de dichromate de potassium et d'acide

sulfurique (Anne, 1945). Ces échantillons de sol ont aussi permis d'obtenir l'azote total selon la méthode de Kjeldal décrite par Bremner et Mulvaney (1982) (cit. Marzougui et Ben Mammou (2006). En plus de ces éléments, la teneur en matière organique (MO) a été calculée par la méthode de destruction et de pesée (Anne, 1945) et le rapport C / N renseignant sur le recyclage de la MO a été calculé. L'étude de l'influence de la saisonnalité sur la TPC (0-30 cm de profondeur) a été faite sur les échantillons de sols obtenus en saison sèche (PSS et GSS) et de pluies (PSP et GSP).

Le stock de carbone du sol (Sc) est déterminé en utilisant la formule ci-après (Paul et al., 2002; Landais, 2003 ; Marco et al., 2010) :

$Sc = Da * (100 - EG) * TpC * E$; avec : Sc : stock de C, en g / m² ; Da : densité apparente, en g / cm³ ; EG : pourcentage d'éléments grossiers de diamètre supérieur à 2 mm; TpC : teneur pondérale en carbone organique, en g C/ kg de sol;c'est en effet la teneur en carbone organique du sédiment ou du sol analysé ; E : épaisseur de l'horizon, en dm.

Pendant la période d'étude, les variables (TPC, Da , MO, EG, N total, C/N) sus citées proviennent de 24 échantillons de sol au total dont 12 échantillons de sol pour les BOR et les 12 autres pour les ZPH de chaque communautés marécageuses à *C. papyrus*. Par ailleurs, un échantillonnage de sol similaire a été effectué dans les autres types de communautés marécageuses dans l'optique d'une comparaison des valeurs.

D'une manière générale, le stock de carbone total (SCT) de chaque communauté marécageuse a été estimé en additionnant les moyennes des quantités de carbone de ses compartiments. La formule utilisée à cet effet est la suivante :

$$SCT = C \text{ aérien} + C \text{ de la litière} + C \text{ souterrain} + Sc$$

II-7- ETUDE DES FACTEURS BIOPHYSIQUES

Dans la présente étude, la prise en compte des facteurs biophysiques s'avère essentielle car ils ont une grande influence sur les phénomènes physiologiques (Borchert, 1994 ; Puig, 2001) tels que la dynamique, la floraison et le stockage de carbone par les plantes.

II-7-1- Facteurs abiotiques

II-7-1-1- Echantillonnage et caractéristiques physico-chimiques des sols

La collecte des échantillons des sols a été effectuée dans les carrés de suivi de 4 m² suivant les mêmes protocoles dans l'ensemble des communautés marécageuses de la zone d'étude.

Dans les quatre carrés de suivi de 4 m² délimités dans chacune des placettes, un prélèvement de sol a été fait sur 0-30 cm et 30-60 cm en BOR et ZPH. Les sols de même profondeur sur les mêmes microhabitats ont été regroupés pour constituer un échantillon composite d'environ 1 kg par profondeur et par microhabitat pour chacun des sept sites. Cet échantillon composite de 1 kg a été utilisé pour les analyses chimiques au laboratoire, après séchage à l'ombre et tamisage à 2 mm. Ces analyses ont été effectuées au laboratoire de l'IITA en vue de déterminer les macro-éléments (calcium, magnésium, phosphates, nitrate, potassium et sodium) et les micro-éléments (manganèse et fer minéraux) disponibles qui influencent le plus le développement végétatif des plantes aquatiques ainsi que leur fonctionnement (Combes, 1952 ; Gras, 2001). Les macro-éléments influencent les aspects végétatifs tandis que les micro-éléments régulent les fonctions physiologiques telles que la floraison. Ces éléments ont été déterminés par extraction à l'acide fluorhydrique au laboratoire de l'IITA.

La détermination du pH des sols a été faite par la méthode électrométrique dans une solution surnageante d'un mélange sol / eau ultra pure (pH-H₂O) ou sol / KCl 1M dans la proportion 1/2,5 (pH-meter Schott CG 842).

II-7-1-2- Humidité du sol

Le degré d'hydromorphie de la vase a été estimé à l'aide de l'échelle (Tableau XVI) de Senterre (2005) et Boupoya et al. (2009). Cette échelle a permis de caractériser l'influence de l'humidité de la vase sur la structure, la phénologie de la floraison, la dynamique et le stockage du carbone chez *C. papyrus*.

Dans le cadre de la présente étude, la catégorie « Faible » correspond au sol des placettes disposées sur les bordures, tandis que la catégorie « Permanent » se rapporte au sol des placettes localisées à proximité des ruiseaux, des étangs ou des rigoles. Les catégories « Moyen » et « Fort » étant intermédiaires entre les deux précédentes.

Tableau XVI. Échelle de mesure du degré d'hydromorphie de la vase.

Echelle	Hydromorphie
« Faible »	sol bien drainant, se réessuyant vite après les pluies
« Moyen »	sol ne se réessuyant pas vite après les pluies
« Fort »	sol périodiquement inondé restant longtemps saturé en eau après les pluies
« Très fort »	sol saturé en eau même en dehors de la saison des pluies

II-7-1-3- Influence de la pollution du milieu

La pollution d'un milieu aquatique influence la productivité des marécages à *C. papyrus* (Muthuri, 1985 ; Meybeck, 1993 ; Fonkou et al., 2011). Les marécages à *C. papyrus* de Yaoundé sont un environnement aquatique évoluant sous la pression directe d'un milieu urbain qui les affecte à différents degrés. Afin d'apprécier l'influence éventuelle de la pollution sur la productivité des milieux, les placettes d'échantillonnage ont été réparties le long des zones en permanence humides. Leur positionnement dans l'ensemble des sites s'est effectué suivant le gradient décroissant d'écoulement des eaux polluées par des substances liquides (eaux usées urbaines, hydrocarbures, etc.) et solides (objets métalliques, bouteilles plastiques, etc.). Ainsi, on a distingué suivant la méthode visuelle trois zones dans chaque site caractérisées par différents degrés de pollution où les placettes ont été installées :

- l'amont (Am), qui correspond à la zone la plus polluée, car montrant une forte concentration en effluent ;
- la zone médiane (Zm), qui est caractérisée par une pollution moins accentuée ;
- enfin l'aval (Av) où les teneurs en effluents sont supposés plus faibles.

Une échelle allant de 1 à 3 des différents degrés de pollution a été établie : 1 = zone faiblement polluée ; 2 = zone moyennement polluée ; 3 = zone très polluée.

II-7-1-4- Profondeur de la vase

Dans chaque placette, la profondeur de la vase a été mesurée à l'aide d'une barre graduée enfoncée jusqu'à la rencontre d'une structure plus solide, en des endroits différents de la placette. Une profondeur moyenne a ensuite été calculée pour les placettes d'un même microhabitat.

II-7-1-5- Autres facteurs abiotiques

D'autres facteurs abiotiques ont été mesurés *in situ*, ils concernent :

- le niveau de la nappe d'eau dans les différents types de parcelle. Les mesures ont été faites à l'aide d'une règle graduée de 60 cm et données en profondeur par rapport à la surface établie comme le niveau initial ;

- l'altitude des sites, évaluée au moyen d'un GPS de marque Garmin.

II-7-2- Facteurs biométriques

II-7-2-1- Densité et longueur des ombelles

Le feuillage est la principale surface d'interception du rayonnement utile à la photosynthèse. En tant que récepteur de rayonnement, le feuillage comporte de nombreuses caractéristiques pertinentes qui sont dans le cas de *C. papyrus*, la densité et la longueur des ombelles (Bakari et al., 2003). La prise en compte de ces caractéristiques foliaires est capitale dans la détermination de nombreux processus tels que la photosynthèse, la production végétale et les échanges de masse et d'énergie à différentes échelles spatiales (Soudani et al., 2002).

La longueur des ombelles des individus déterrés pour l'estimation de la biomasse sèche a été estimée au moyen d'une règle graduée de 60 cm.

II-7-2-2- Diamètre et longueur des organes végétatifs

Les mesures des diamètres ont concerné les tiges et rhizomes des individus déterrés dans les carrés de récolte de 1 x 1 m. En plus du diamètre, la hauteur des tiges a été relevée. Les individus de *C. papyrus* ont ensuite été séparés aussi bien en classe de diamètre qu'en classe de hauteur suivant la méthode de Jones (1983).

II-7-3- Influence anthropique

Deux activités anthropiques ont été considérées dans le suivi de la dynamique de *C. papyrus*. Ces activités anthropiques concernent les coupes de tiges et l'intensité de la pollution.

Pour étudier l'influence des coupes de tiges sur la dynamique de *C. papyrus*, une échelle constituée de deux classes a été établie, à savoir : 0 = absence de coupe ; 1 = présence de traces de coupe.

II-8- RECOLTE ET MINERALISATION DES ECHANTILLONS DES PLANTES

Afin de déterminer l'influence des facteurs édaphiques sur la floraison, des analyses d'individus de *C. papyrus* se développant sur les bordures et les zones en permanence humides ont été réalisées, suivant la méthode de Combes et al. (1952) et de Heller et al. (1989). La méthode a consisté en l'échantillonnage des individus de plantes se trouvant dans les carrés de suivi de 4 m² où les prélèvements de sol ont été effectués. Puis on compare la charge minérale des individus échantillonnés des divers milieux.

Les individus récoltés ont été classés en deux groupes : les individus fleuris des bordures et ceux non fleuris des zones en permanence humides. On a donc comparé les teneurs en minéraux des individus de même âge, se développant parallèlement dans l'un et l'autre microhabitat. La comparaison des individus parvenus au même stade de développement n'a donc pas été effectuée.

Toutefois, en absence de données bibliographiques se rapportant sur l'âge de la floraison de *C. papyrus*, dix individus de même diamètre ont été récoltés dans chacun des groupes ci-dessous.

Dans le premier groupe qui est constitué d'individus fleuris rencontrés sur les bordures, on a considéré les catégories suivantes : individus jeunes de 1-10 mm de diamètre (IJ); individus jeunes en floraison (IJ⁺) de diamètre compris entre 10-20 mm; individus matures en début de floraison (IM⁺) ayant 50-60 mm de diamètre; individus matures en pleine floraison (IM⁺⁺) ayant 90-100 mm.

Le second groupe comporte les individus non fleuris de même diamètre que les précédents et se développant dans les zones en permanence humides suivant les catégories ci-après : individus jeunes de 1-10 mm de diamètre (IJ); individus jeunes non fleuris (IJ⁻) de diamètre compris entre 10-20 mm; individus matures non fleuris (IM⁻) ayant 50-60 mm de diamètre; individus mature non fleuris et senescent (IM⁰) ayant 90-100 mm.

Les différents échantillons d'individus entiers ont été traités au laboratoire de l'IITA : ils ont été d'abord découpés, puis séchés dans une étuve à 65 °C pendant 72 heures. Les individus ont subi un premier broyage à l'aide d'un mixeur, puis ont été conservés dans des sachets en polyéthylène. Après un second broyage dans un mortier d'agate pour obtenir une poudre, les échantillons ont été ensuite minéralisés par digestion humide. D'une manière

générale, le procédé de préparation d'échantillon (Fig.16.) a été fait selon la méthode de Ryan et al. (2001).

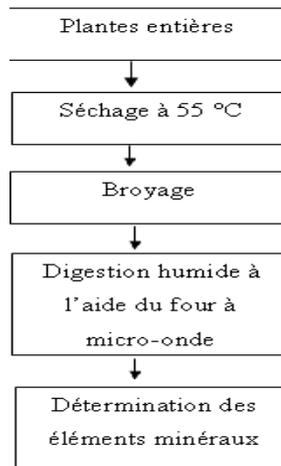


Fig.16. Procédé d'analyse des plantes (Ryan et al., 2001).

II-9- ETUDE DES VARIATIONS SAISONNIERES DU CARBONE ORGANIQUE

L'étude des variations saisonnières de carbone organique dans la biomasse et le sol des marécages à *C. papyrus* de la ville de Yaoundé et ses environs s'est faite sur la base du découpage saisonnier (Olivry, 1986).

En effet, l'étude du découpage saisonnier de Yaoundé révèle l'existence d'une grande saison des pluies (GSP), de septembre à novembre et d'une grande saison sèche (GSS), de décembre à février, alternant avec une petite saison des pluies (PSP), de mars à juin et une petite saison sèche (PSS).

Afin d'étudier l'évolution pluriannuelle (de juillet 2007 à juillet 2010) des stocks de carbone dans la biomasse de *C. papyrus*, des individus ont été saisonnièrement récoltés (parties aérienne et souterraine), séchés à l'étuve et pesés jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Les échantillons de sol ont aussi quant à eux fait l'objet de prélèvements saisonniers en période d'étiage, au niveau de chaque communauté marécageuse à *C. papyrus* (Tableau XVII).

Tableau XVII. Fréquence saisonnière de prélèvement des sols dans les microhabitats marécageux à *C. papyrus* de Yaoundé. BOR : bordures ; ZPH : zones en permanence humides.

Microhabitat	PSS	PSP	GSS	GSP	Nombre de prélèvements
BOR	3	1	3	1	8
ZPH	3	1	3	1	8

II-10- ANALYSE DES DONNEES ET LOGICIELS UTILISES

II-10-1- Analyse de la diversité spécifique

L'utilisation des indices d'un usage courant a permis de mettre en évidence la diversité spécifique des communautés végétales dans les différents types de placettes. Les indices utilisés dans le présent travail sont :

- l'indice de diversité de Shannon (Blondel, 1995), au contraire de la richesse spécifique qui est un chiffre brut, cet indice prend aussi en compte l'abondance relative des individus des différentes espèces (Ramade, 1994). Sa formule est la suivante :

$H' = -\sum ni/N \log_2 ni/No$ où n_i représente l'effectif de l'espèce de rang i , N l'effectif total de la communauté considérée et S le nombre total d'espèces. Le choix de la base du logarithme est arbitraire (Valiela, 1995). Dans la présente étude, la base 2 est choisie afin de permettre la comparaison avec les études ayant utilisées la même base (Kouka, 2000 ; Bizuru, 2005 ; Mahamane, 2005 ; Ngok, 2005 ; Kono, 2007). Dans ce cas, l'indice de Shannon s'exprime en bits.

Par ailleurs, il est important de signaler que cet indice accorde plus d'importance aux espèces rares (Barbault, 1983).

- l'indice d'équitabilité ou de régularité (Lebreton et Yoccoz, 1987) : $E = H' / \log_2 S$

C'est le rapport entre l'indice de diversité et le logarithme du nombre d'espèces présentes (S) dans la communauté ;

- l'indice de diversité de Simpson (Lebreton et Yoccoz, op. cit.): $D' = \sum (ni/N)^2$;

C'est la probabilité pour que deux individus pris au hasard dans le peuplement étudié appartiennent à la même espèce. L'indice de Simpson favorise les espèces abondantes ;

- la richesse spécifique (S) qui est le nombre total d'espèces végétales d'une communauté.

Dans la présente étude, la richesse spécifique est le nombre moyen d'espèces rencontrées dans les différentes placettes.

Ces indices qui fournissent des renseignements sur la qualité des peuplements, sur leur viabilité ou sur leur évolution ont été déterminés au moyen du logiciel Excel.

II-10-2- Caractéristiques floristiques des marécages

Outre l'aspect écologique, la flore des marécages à *C. papyrus* est caractérisée par des paramètres structurels tels que les types biologiques, les types foliaires et les types chorologiques (types phytogéographiques et types de diaspores). Ces paramètres écologiques sont des indicateurs de la dynamique et du fonctionnement d'un écosystème (Bangirinama et al., 2010).

II-10-2-1- Types biologiques

Les types biologiques se définissent comme étant l'ensemble des dispositifs écomorphologiques qui caractérisent l'appareil végétatif d'une espèce (Lebrun, 1947). Les spectres biologiques du groupement sont une représentation relative des types biologiques.

L'intérêt des spectres biologiques est qu'ils reflètent, par la structure de la végétation dont ils sont issus, les conditions du milieu ambiant, tant au niveau stationnel que régional (Raunkiaer, 1934). Dans le cas de cette étude, l'analyse des spectres biologiques permet de comprendre, d'analyser la structure des communautés végétales rencontrées et de voir les conditions édaphiques qui gouvernent leur mise en place.

Les principaux types biologiques utilisés dans cette étude sont basés sur la classification de Raunkiaer (1934), classification qui a été adaptée aux régions tropicales par Lebrun (1947, 1966), Germain (1952, 1965) et Schnell (1970, 1976, 1977). On distingue donc dans le cadre du présent travail :

- les phanérophytes : plantes dont les pousses ou les bourgeons persistants se situent à plus de 40 cm du sol. Ils se subdivisent en phanérophytes ligneux dressés ou érigés qui comprennent :

- les mésophanérophytes (MsPh) ; arbres moyens et lianes de 10 à 30 m de hauteur ;

- les microphanérophytes (McPh) : arbustes et lianes de 2 à 10 m de hauteur ;

- les nanophanérophytes (NnPh) : arbustes et lianes de 0,4 à 2 m de hauteur ;

- les phanérophytes ligneux grimpants qui peuvent être volubiles (Ph g v), à vrilles (Ph g vr) ou rhizomateux (Ph g rh) ;

- les phanérophytes herbacés qui peuvent être volubiles ou étayés (Ph h g v), à crochets (Ph h g cr) ou à tubercules (Ph h tu).

- les chaméphytes : plantes dont les pousses et les bourgeons persistent et se situent à 40 cm de hauteur. Ils peuvent, entre autres, être dressés (Ch d) ;

- les géophytes : plantes à appareil caulinair, caduc et dont les bourgeons et les jeunes pousses sont dans le sol. Ils peuvent être rhizomateux (Go rh), bulbeux (Go bu) ou tubéreux (Go tu) ;

- les thérophytes : plantes annuelles qui passent la mauvaise saison sous forme de graines. Ils peuvent être dressés (Th d), cespiteux (Th ce), prostrés (Th p), rampants (Th r), grimpants volubiles (Th g v) ou grimpants à vrilles (Th g vr).

II-10-2-2- Types de dimensions foliaires

La distribution des types de dimensions foliaires a été inspirée de la classification de Raunkiaer (op.cit.) et adaptée aux régions tropicales par Evrard (1968) et Schnell (1971). Dans la présente étude, les subdivisions retenues sont :

- les leptophylles (Le) : surface foliaire $< 0,2 \text{ cm}^2$;

- les nanophylles (Na) : surface foliaire comprise entre $0,2 - 2 \text{ cm}^2$;

- les microphylles (Mi) : surface foliaire comprise entre $2 - 20 \text{ cm}^2$;

- les mésophylles (Mé) : surface foliaire comprise entre $20 - 200 \text{ cm}^2$;

- enfin les macrophyllés (Macro) : surface foliaire comprise entre 200 - 2000 cm².

II-10-2-3- Types de diaspores

Les spectres des diaspores des communautés végétales sont une représentation relative des types de diaspores. Ils renseignent sur la nature des diaspores des espèces et donnent des indications sur leurs modes de dissémination. Le type de dissémination reflète la physionomie du groupement ou de la communauté considérée. Les types de diaspores utilisées dans cette étude sont basés sur le modèle développé par Dansereau et Lems (1957), ils sont basés essentiellement sur des critères morphologiques. On distingue :

- les espèces autochores : dans cette catégorie, les diaspores ne présentent pas d'adaptation à un quelconque agent externe de dispersion et se subdivisent en : ballochores (Ball) chez lesquels la diaspore est éjectée par la plante ; sclérochores (Scléro) dont les diaspores sont sans caractère particulier mais de masse inférieure à un gramme ;

- les espèces hétérochores : les diaspores sont munies d'appendices ou extrêmement légères ou encore enveloppées de couches charnues. On distingue : les sarcochores (Sarco) dont les diaspores sont pourvues de couches externes charnues et molles et les pléochores (Pléo) dont les diaspores disposent d'un dispositif de flottaison.

II-10-2-4- Types phytogéographiques

Les spectres chorologiques des communautés marécageuses à *C. papyrus* sont une représentation relative des types phytogéographiques. Ils permettent de donner des informations sur l'origine et sur l'aire de répartition des différentes espèces du peuplement ainsi que de situer la flore des marécages étudiés par rapport aux autres formations végétales sur sol hydromorphe d'Afrique centrale.

Les premières subdivisions chorologiques de l'Afrique ont été réalisées par Engler ((1910, 1921 in Lebrun (1947)).

Depuis lors, de nombreux travaux ont permis de préciser ces subdivisions. On peut citer notamment Lebrun (1947), Duvigneaud (1949, 1953), Monod (1957) et Aubréville (1962). Mais les travaux les plus récents de White (1979, 1983, 1986) ont permis de mieux

préciser ces subdivisions chorologiques. Ce sont ces subdivisions qu'on a adoptées dans ce travail. Il s'agit des :

- espèces à large distribution comprenant : les espèces pantropicales (Pan), présentes en Afrique, Amérique et Asie tropicale ; les espèces paléotropicales (Pal), présentes en Afrique, en Asie tropicale ainsi qu'à Madagascar et en Australie; les espèces afromalgaches (AM), présentes dans les îles de la région de Madagascar et en Afrique continentale ; les afrotropicales (AT), présentes dans plusieurs phytochories d'Afrique ; les espèces cosmopolites (Cos), présentes en zone tropicale et tempérée.

- espèces endémiques guinéo-congolaises regroupant : les espèces guinéennes (G), présentes dans les domaines floristiques guinéens inférieur et supérieur ; les espèces centroguinéo-congolaises (CG), présentes dans le domaine guinéen mais n'atteignant pas le domaine guinéen supérieur ; les espèces bas-guinéennes (BG) : présentes dans le domaine bas-guinéen.

II-10-3- Méthodes de comparaison des moyennes

Les valeurs des moyennes et variances sont obtenues à l'aide des logiciels ANOVA et R qui comparent la variance intragroupe à la variance intergroupe. En effet, les valeurs de la variance ont servi à accepter ou rejeter les hypothèses confirmant ou infirmant les différences significatives et prédire quelles sont les causes probables de ces différences si elles existent.

Le test de chi-carré ou chi-deux (χ^2) a été utilisé pour comparer les données de terrain au modèle théorique (ou calculé ou attendu). Dans la comparaison avec une table de référence, si la valeur du chi-carré calculée est plus grande que la valeur critique à $p = 0,05$, la différence est significative (Harvey, 2002 cit. Boupoya, 2010) ; sinon on n'observe pas de différence significative.

II-10-4- Régression linéaire simple et multiple

La régression linéaire simple a été utilisée dans la perspective de dégager le degré de corrélation entre divers paramètres analysés pris deux à deux. Dans le cadre du présent travail, les régressions linéaires ont permis d'établir les corrélations entre les stocks de carbone et les facteurs biotiques tels que le nombre de feuilles par ombelle, la hauteur des tiges, le diamètre des tiges et rhizomes.

La régression multiple a été utilisée pour établir les affinités entre les données biotiques et les considérations écologiques. Cette régression a été effectuée à l'aide du logiciel XLSTAT.

II-10-5- Analyse en composantes principales

Dans la présente étude, l'analyse en composantes principales (ACP) a permis la mise en évidence des sels minéraux qui influencent la floraison de *C. papyrus* dans les différents types de milieux, eux-mêmes discriminés par cette méthode en microhabitats de zones en permanence humides et de zones de bordures. Les individus ont été codifiés en fonction de leur origine, leur âge et leur état phénologique.

On a ainsi distingué : les individus jeunes des bordures (BIJ), les individus jeunes fleuris des bordures (BIJ⁺), les individus matures en début de floraison des bordures (BIM⁺), les individus matures en pleine floraison des bordures (BIM⁺⁺), les individus jeunes des zones en permanence humides (ZIJ), les individus jeunes non fleuris des zones en permanence humides (ZIJ⁻), les individus matures non fleuris des zones en permanence humides (ZIM⁻) et les individus matures non fleuris et senescents des zones en permanence humides (ZIM⁻⁰).

Par ailleurs, on a aussi réalisé une ACP afin de déterminer la part de la variabilité des stocks de carbone dans les compartiments aérien, souterrain et dans le sol, qui peut être expliquée par les variables environnementales et biotiques. L'ACP permet en effet de comparer des variables statistiques de poids différents. Toutefois, avant de procéder à l'analyse, il est important de signaler que pour que l'analyse en composantes principales soit représentative, le nombre de variables dépendantes ne doit pas être supérieur au nombre d'échantillons à analyser appelés individus (Philippeau, 1986).

Dans le cadre de ce travail, les variables (environnementales et biotiques) retenues sont celles utilisées par plusieurs auteurs (Muthuri, 1985 ; Kipkemboi et al., 2002 ; Mamdouh, 2003 ; Saunders et al., 2007 ; Grinand et al., 2008 ; Marco et al., 2010) pour expliquer les stocks de carbone dans les organes végétaux et le sol.

Les variables environnementales prises en compte concernent l'hydromorphie (H), la profondeur de la vase (PV), la teneur du sol en argile (TA), la matière organique (MO), la pollution (P), le pH et le stock de litière (SL). Parmi les variables biotiques, on a retenu le diamètre des tiges (DT), la densité des individus (Dé), le nombre de feuilles par ombelles (NF) et le diamètre des rhizomes (DR).

En général, les données ont été collectées pendant trois ans (de juillet 2007 à juillet 2010) dans les deux types de microhabitats des communautés marécageuses. L'ACP effectuée a permis d'explicitier les interactions qui existeraient entre les principaux compartiments (aériens, souterrains et sol) stockant le carbone dans les sept sites marécageux à *C. papyrus* et les facteurs écologiques dominants. Dans le présent travail, cette analyse en composantes principales a été réalisée avec le logiciel XLSTAT.

CHAPITRE III.

RESULTATS ET DISCUSSION

III-1- RESULTATS

III-1-1- CARACTERISTIQUES FLORISTIQUES DES MARECAGES

III-1-1-1- Analyse floristique

L'étude du cortège floristique montre que la végétation est principalement composée de plantes rudérales. Pour l'ensemble des marécages à *C. papyrus* de la ville de Yaoundé et ses environs, 47 espèces végétales ont été recensées. Ces espèces vivent en communauté avec *C. papyrus*. En effet, le marécage le plus riche est celui du lac Municipal avec un nombre moyen d'espèces de $9,74 \pm 1,55$. Ce site est significativement différent des autres (Fig.17.). Le site le moins riche est l'Etang de la Retenue 1 avec un nombre moyen d'espèces de $2,7 \pm 0,42$. Ce marécage est significativement différent des autres. Le site de Mvan-Ahala 2, avec un nombre moyen d'espèces de $6,82 \pm 2,16$, est quant à lui statistiquement comparable en termes de nombre d'espèces aux marécages de Mvan-Ahala 3 et Mvan-Ahala 4. Ces 47 espèces se répartissent entre 21 familles et 32 genres.

En considérant la flore totale des marécages à *C. papyrus* de la ville de Yaoundé et ses environs, il ressort que les *Cyperaceae* représentent la famille prédominante avec 10 espèces (Fig.18.). Les *Cyperaceae* dominantes et communes à ces différents sites sont : *C. distans*, *C. haspan*, *C. papyrus*, *Fuirena umbellata*, *Kyllinga pumila*, *Pycreus lanceolatus*, *Rhynchospora corymbosa* et *Scleria verrucosa*.

Les *Commelinaceae*, malgré le fait qu'elles ne soient représentées que par trois genres à savoir *Aneilema*, *Commelina* et *Palisota*, constituent la deuxième famille la plus diversifiée avec 7 espèces. Parmi les *Commelinaceae* dominantes se rencontrent *Aneilema beniniense*, *A. umbrosum*, *Commelina africana*, *C. capitata*, *C. diffusa*, *Palisota ambigua* et *P. hirsuta*.

De nombreuses familles sont représentées par une seule espèce. Nous citons : les *Apocynaceae* (*Rauwolfia vomitoria*), les *Begoniaceae* (*Begonia macrocarpa*), les *Burmanniaceae* (*Burmannia madagascariensis*), les *Costaceae* (*Costus afer*), les *Loganiaceae* (*Anthocleista schweinfurthii*), les *Nephrolepidaceae* (*Nephrolepis biserrata*), les *Rubiaceae* (*Mitragyna stipulosa*), les *Selaginellaceae* (*Selaginella myosurus*), les *Tiliaceae* (*Triumfetta cordifolia*), les *Hypericaceae* (*Harungana madagascariensis*), les *Melastomataceae* (*Melastomastrum capitatum*), les *Orchidaceae* (*Bulbophyllum capituliferum*), les *Pteridaceae* (*Pteris similis*) et les *Zingiberaceae* (*Aframomum giganteum*). Pour une meilleure lisibilité des graphiques, ces familles seront désignées par le terme « Autres ».

Les indices de diversité (Tableau XVIII) ont permis de discriminer les différentes placettes délimitées sur la base de leur stade de recouvrement par *C. papyrus*. Ainsi, il apparaît que les valeurs de la diversité spécifique (H') diminuent significativement des PFR vers les PER, quel que soit le marécage étudié. Autrement dit, la diversité est forte dans les PFR (H' proche de 4,5 bits) et très faible dans les PER (H' inférieur à 0,5 bits). Par ailleurs, l'équitabilité (E) se situe entre 0,03 et 0,55 pour tous les types de placettes. Ces valeurs moyennes s'expliquent par la présence dans chaque site de quelques espèces prédominantes. De manière particulière, les PER présentent les valeurs les plus faibles (0,03) du fait de la prédominance de *C. papyrus* qui forme des peuplements monospécifiques. Les valeurs de l'équitabilité sont significativement différentes entre les types de placettes. La même tendance s'observe pour les valeurs de l'indice de Simpson (0,98) dans les PER qui mettent en évidence la prédominance d'une seule espèce. Par contre, on observe une relative équirépartition des espèces ainsi que leur nombre d'individus dans les PFR.

L'ensemble de ces résultats permettent de justifier l'appellation (PFR, PMR et PER) des différentes placettes dans le cadre de la présente étude.

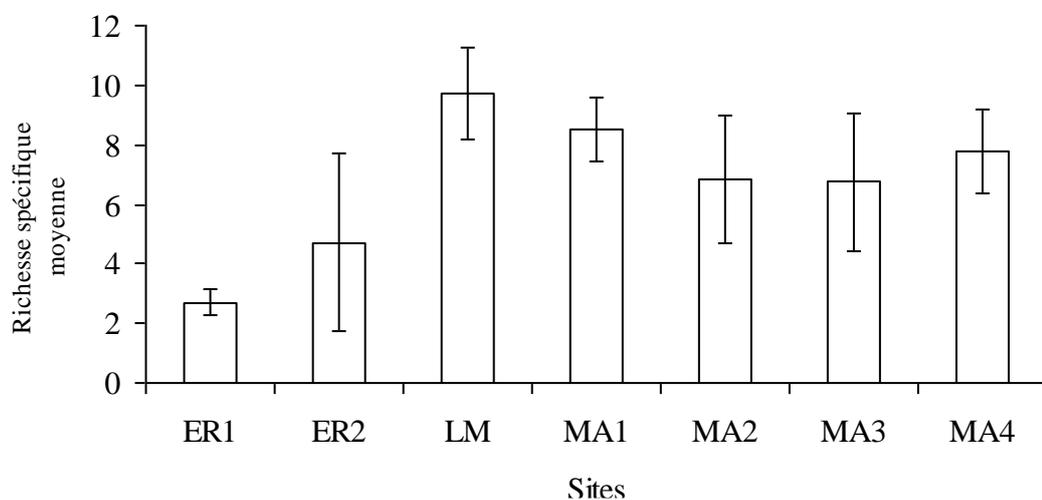


Fig. 17. Richesse spécifique moyenne des différents marécages à *C. papyrus* de Yaoundé et ses environs. ER : Etang de la Retenue ; LM : Lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala.

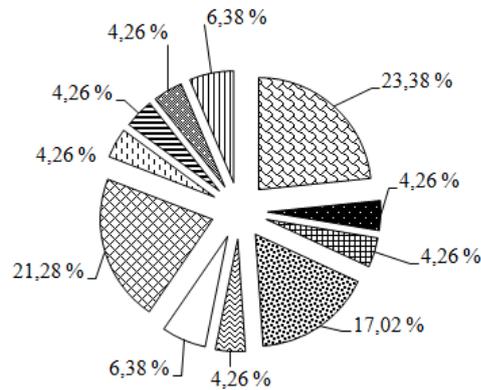


Fig.18. Proportions des familles dans les marécages à *C. papyrus* de Yaoundé et ses environs.

«Autres»	Araceae	Balsaminaceae	Compositaceae
Convolvulaceae	Cucurbitaceae	Cyperaceae	Dioscoreaceae
Euphorbiaceae	Onagraceae	Poaceae	

Tableau XVIII. Valeurs des indices au sein des différents types de placettes délimitées dans les marécages à *C. papyrus* de Yaoundé. PFR : placettes faiblement recouvertes; PMR : placettes moyennement recouvertes ; PER : placettes entièrement recouvertes ; N : Nombre d'individus ; S : Nombre d'espèces ; H' : Indices de diversité de Shannon (en bits) ; E : Equitabilité ; D' : Indice de Simpson.

Type de placette	N	S	H'	E	D'
PFR	3255	33	2,78	0,55	0,35
PMR	4873	19	1,23	0,28	0,70
PER	8330	5	0,08	0,03	0,98

III-1-1-2- Analyse des types biologiques

L'analyse des types biologiques (Tableau XIX) va permettre d'avoir une idée sur les caractères structuraux des marécages à *C. papyrus*. On a effectué un test de χ^2 (khi-deux) afin de vérifier si les différences entre les valeurs totales des types biologiques sont significatives. L'hypothèse nulle (H_0) est qu'il n'existe pas de différence entre la répartition des types biologiques au sein de la flore des marécages à *C. papyrus* de Yaoundé et ses environs.

Du fait de leur faible proportion, les hémicryptophytes ne sont pas considérés dans le test du χ^2 . La valeur du χ^2 calculée est de 18,02 pour 3 degrés de liberté, la table du χ^2 donne

2,58 à la valeur critique de $p = 0,05$. Le χ^2 calculé étant supérieur au χ^2 lu sur la table de Student, on peut conclure que la répartition des types biologiques est significativement différente entre les marécages à *C. papyrus* de Yaoundé. L'hypothèse nulle est donc rejetée.

En général, il ressort que les géophytes sont les mieux représentés dans les marécages à *C. papyrus* étudiés. Ils sont suivis par les thérophytes, les phanérophytes et les chaméphytes. Avec 8,51 %, les hémicryptophytes ne sont que marginalement représentés.

Parmi ces géophytes prédominent les espèces ci-après : *Aframomum giganteum* (Zingiberaceae), *Anchomanes difformis* (Araceae), *C. papyrus* (Cyperaceae), *Echinochloa pyramidalis* (Poaceae), *Pycreus lanceolata* et *Rhynchospora corymbosa* (Cyperaceae).

Tableau XIX. Types biologiques au sein des marécages à *C. papyrus*. NE : Nombre d'espèces ; TST : Total des sous-types ; - : Absent.

Type biologique		NE	TST	%
Chaméphytes	Dressés	6	6	12,77
	Prostrés	-		
Géophytes	Rhizomateux	12	16	34,04
	Bulbeux	-		
	Tubéreux	4		
Hémicryptophytes		4	4	8,51
Phanérophytes	Mégaphanérophytes	1	8	17,02
	Mésophanérophytes	1		
	Microphanérophyte	2		
	Nanophanérophytes	2		
	Grimpants	2		
Thérophytes	Dressés	4	13	27,66
	Grimpants	3		
	Prostrés	4		
	Rampants	2		
Total		47		100

III-1-1-3- Analyse des types phytogéographiques

L'analyse des types phytogéographiques (Tableau XX) va permettre de préciser la distribution des espèces pour comprendre les facteurs spatio-temporels qui sont à la base des formations étudiées.

Les données obtenues indiquent une prépondérance des espèces à large distribution (61,70 %) sur les espèces Guinéo-congolaises (38,30 %). La forte proportion des espèces à large distribution provient essentiellement du sous-type des espèces pantropicales. Ces espèces constituent à elles seules environ 50 % des espèces de ce type phytogéographique. Les espèces pantropicales les plus régulièrement rencontrées sont *Acroceras zizanoides* (*Poaceae*), *Commelina diffusa* (*Commelinaceae*), *Dioscorea bulbifera* (*Dioscoreaceae*), *Echinochloa pyramidalis* (*Poaceae*), *Euphorbia heterophylla* (*Euphorbiaceae*), *Ipomoea batatas* (*Convolvulaceae*), *Paspalum conjugatum* (*Poaceae*) et *Rhynchospora corymbosa* (*Cyperaceae*). Il convient de souligner que les espèces à large distribution sont surtout représentées par la famille des *Cyperaceae* auxquelles s'ajoute une fraction des espèces de la famille des *Poaceae*.

La catégorie d'espèces Guinéo-congolaises est essentiellement constituée de plantes guinéennes dans les marécages à *C. papyrus* étudiés. On y rencontre, entre autres, *Anchomanes difformis*, *Lasiomorpha senegalense* (*Araceae*), *Impatiens niamnimensis* (*Balsaminaceae*), *Aneilema beniniense*, *A. umbrosum* (*Commelinaceae*), *Bulbophyllum capituliferum* (*Orchidaceae*), *Hallea stipulosa* (*Rubiaceae*), etc.

Tableau XX. Types phytogéographiques au sein des marécages à *C. papyrus*. NE : Nombre d'espèces ; TST : Total des sous-types.

Distribution	Type phytogéographique	NE	TST	%
Espèces Guinéo-congolaises	Guinéennes (G)	10	18	38,30
	Bas-guinéennes (BG)	6		
	Centroguinéo-congolaises (CG)	2		
Espèces à large distribution	Afrotropicales (AT)	6	29	61,70
	Afronéotropicales (AnT)	1		
	Cosmopolites (Cos)	1		
	Paléotropicales (Pal)	3		
	Pantropicales (Pan)	14		
	Afromalgaches (AM)	4		
Total		47		100

III-1-1-4- Analyse des types de diaspores

Dans les communautés marécageuses à *C. papyrus*, les diaspores autochores sont plus nombreuses avec 61,70 % d'espèces végétales (Tableau XXI). Ces espèces autochores sont majoritairement sclérochores. Il s'agit entre autre de *Aneilema beniniense*, *A. umbrosum*, *Commelina africana*, *C. capitata*, *C. diffusa*, *Palisota ambigua*, *P. hirsuta* (*Commelinaceae*), *Cyperus distans*, *C. haspan*, *C. papyrus*, *Fimbristylis dichotoma*, *F. littoralis*, *Fuirena umbellata*, *Kyllinga pumila*, *Pycreus lanceolatus*, *Rynchospora corymbosa*, *R. perrieri*, *Scleria verrucosa* (*Cyperaceae*), *Pteris similis* (*Pteridaceae*), etc.

Bien que les espèces hétérochores soient minoritaires, il est à signaler que le sous-groupe des sarcochores est dominant. Parmi les espèces dominantes de ce sous-groupe, on peut citer : *Aframomum giganteum* (*Zingiberaceae*), *Alchornea cordifolia* (*Euphorbiaceae*), *Anchomanes difformis*, *Lansiomorpha senegalense* (*Araceae*), *Momordica cissoides*, *M. foetida*, *Zehneria scabra* (*Cucurbitaceae*), etc.

Tableau XXI. Types de diaspores au sein des marécages à *C. papyrus*. NE : Nombre d'espèces ; TST : Total des sous-types.

Type de diaspore		NE	TST	%
Espèces autochores	Ballochores (Ball)	2	29	61,70
	Sclérochores (Scléro)	27		
Espèces hétérochores	Ptérochores (Ptéro)	2	18	38,30
	Sarcochores (Sarco)	14		
	Pléochores (Pléo)	2		
Total		47		100

III-1-1-5- Analyse des types foliaires

Les différentes communautés marécageuses à *C. papyrus* sont dominées par les microphylls qui totalisent respectivement 46,80 % (Tableau XXII). Parmi les espèces concernées, on peut citer *Acroceras zizanoides* (*Poaceae*), *Impatiens irvingii* (*Balsaminaceae*), *Impatiens niamniemensis*, *Bengonia macrocarpa* (*Bengoniaceae*), *Aneilema beniniense*, *A. umbrosum*, *Commelina africana*, *C. capitata*, *C. diffusa* (*Commelinaceae*),

Cyperus distans, *C. papyrus*, *Fuirena umbellata* (*Cyperaceae*), etc. Ces espèces microphylls sont pour la grande majorité observées en bordures des marécages.

La proportion des mésophylles est aussi significative avec 34,04 %. On peut citer *Alchornea cordifolia* (*Euphorbiaceae*), *Costus afer* (*Costaceae*), *Dioscorea bulbifera* (*Dioscoreaceae*), *Palisota ambigua*, *P. hirsuta* (*Commelinaceae*), *Ipomoea aquatica* (*Convolvulaceae*), *Rhynchospora corymbosa*, *R. perrieri* (*Cyperaceae*), *Pteris similis* (*Pteridaceae*), etc. Ces espèces occupent surtout les zones en permanence humides.

Kyllinga pumula (*Cyperaceae*) représente la seule espèce nanophylle rencontrée dans les marécages à *C. papyrus*.

Tableau XXII. Types foliaires au sein des marécages à *C. papyrus*. NE : Nombre d'espèces.

Type foliaire	NE	%
Leptophylles (Le)	2	4,26
Nanophylles (Na)	1	2,13
Microphylls (Mi)	22	46,80
Mésophylles (Mé)	16	34,04
Macrophylls (Macro)	6	12,77
Total	47	100

III-1-2- CARACTERISTIQUES STRUCTURALES DE *C. papyrus*

III-1-2-1- Densité

La densité moyenne des peuplements de *C. papyrus* est de $50,29 \pm 20,26$ individus / m². Toutefois, elle varie d'un marécage à l'autre (Fig. 19). Elle est statistiquement plus élevée dans Etang de la Retenue ($76 \pm 4,03$ individus / m²) et plus faible au Lac Municipal ($22 \pm 5,33$ individus / m²). La forte densité de *C. papyrus* dans l'Etang de la Retenue est due à deux facteurs dont l'âge et le degré d'eutrophisation de ce milieu.

Les effectifs en densité évoluent en fonction du degré d'hydromorphie dans les marécages à *C. papyrus* (Fig. 20). La densité est minimale dans les placettes faiblement recouverte et maximale dans les placettes entièrement recouvertes, quels que soient le degré d'hydromorphie et le marécage considéré.

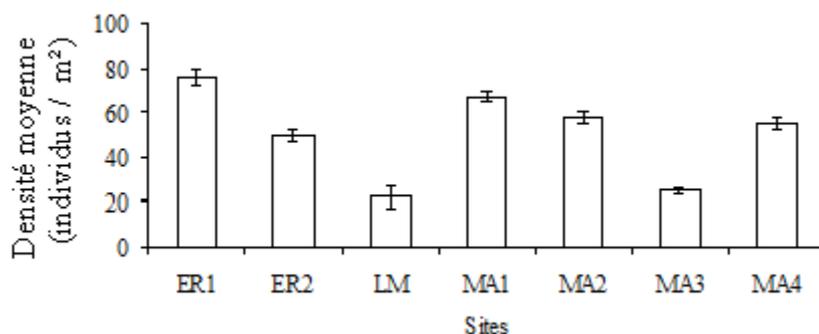


Fig.19. Densité moyenne de *C. papyrus* au sein des différents sites. ER : étang de la retenue ; LM : lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala.

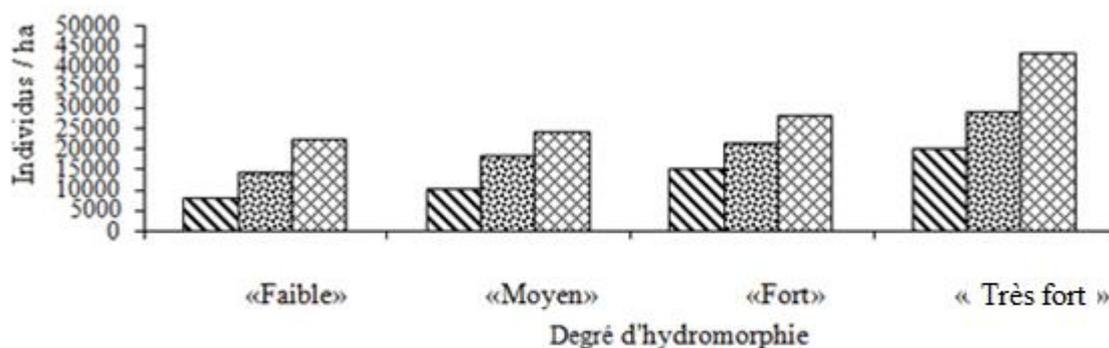
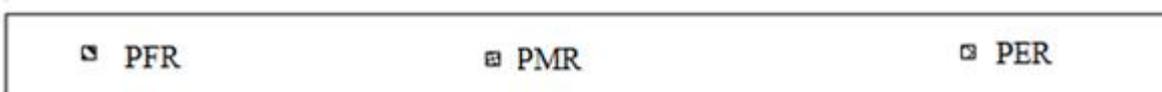


Fig. 20. Densité moyenne de *C. papyrus* en fonction du degré d'hydromorphie des placettes.



III-1-2-2- Diamètre

L'analyse de l'évolution des différentes structures diamétrique montre des différences d'une placette à l'autre (Fig. 21). En effet le diamètre varie avec le recouvrement des placettes dans les marécages à *C. papyrus*. Il ressort que le nombre d'individus ayant un diamètre inférieur ou égal à 10 mm ne cesse de décroître quand on passe d'une placette faiblement recouverte à une placette entièrement recouverte, suivant une distribution en L. Cette distribution est inversée pour les individus de diamètres supérieurs à 90 mm. Ainsi, les plus petits diamètres se rencontrent dans les placettes faiblement recouvertes avec 48,30 %, tandis que les diamètres moyens sont observés dans les placettes moyennement recouvertes avec 47,72 %, et les plus grands diamètres sont rencontrés dans les placettes entièrement recouvertes avec 54,60 %.

Le nombre d'individus à grand diamètre est élevé dans les zones en permanence humides qu'en bordures dans l'ensemble des sites d'étude. Ce résultat s'explique

probablement par une meilleure disponibilité en eau au cours de l'année, en particulier pendant la saison sèche.

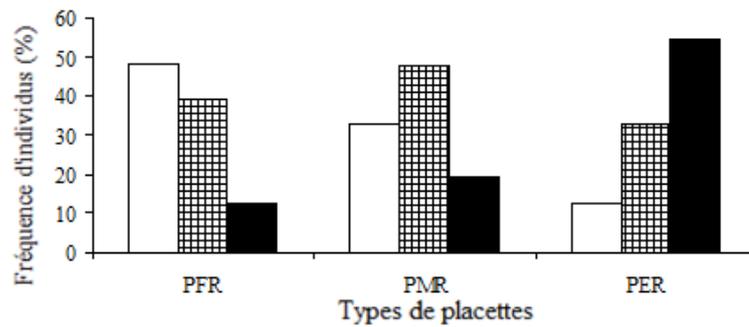


Fig. 21. Structure diamétrique des types de placettes considérées lors de la récolte de biomasse dans les marécages de Yaoundé. PFR : placettes faiblement recouvertes ; PMR : placettes moyennement recouvertes, PER : placettes entièrement recouvertes.



III-1-2-3- Surface terrière

Dans le présent travail, la surface terrière totale montre de fortes variations en fonction des sites (Fig. 22). Elle est plus élevée dans l'Etang de la Retenue avec un total de 87,75 m²/ha et plus faible dans le Lac Municipal avec 13,57 m²/ha.

En fonction des classes de diamètre, on observe une décroissance de la surface terrière des plus grands diamètres vers les plus petits diamètres. Ainsi, dans chaque site, la surface terrière est faible pour les classes de diamètre inférieures ou égale 10 mm, tandis qu'elle est élevée dans les classes de diamètre supérieures à 90 mm.

Il est à remarquer que l'Etang de la Retenue 1 montre les valeurs de surface terrière les plus élevées, de l'ordre de 7,14, 30,36 et 50,25 m²/ha respectivement pour les classes de diamètre ≤ 10 mm, 10 mm < diamètre ≤ 90 mm et pour les classes de diamètres > 90 mm. Ce résultat indique que les catégories de diamètre influencent fortement la surface terrière.

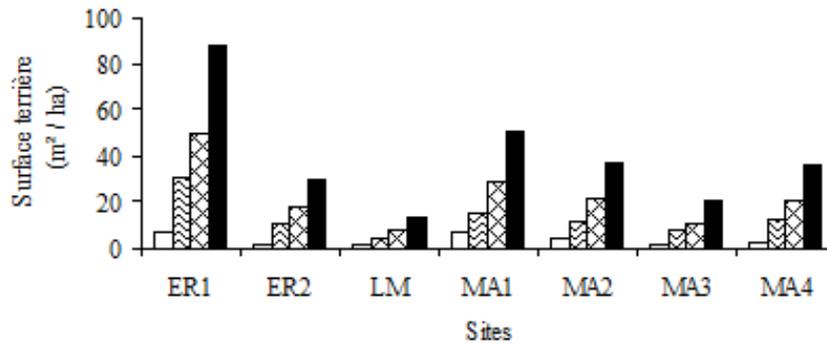
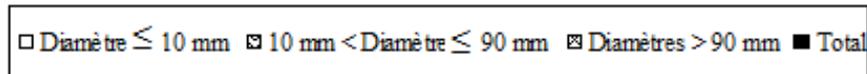


Fig. 22. Surface terrière observées dans les marécages à *C. papyrus*. ER : Etang de la Retenue ; LM : lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala.



III-1-3- DYNAMIQUE DE *C. papyrus*

III-1-3-1- Variation mensuelle du nombre de rejets

Dans l'année, la proportion des rejets résultant de la régénération végétative est au moins égale à 20 % dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* de Yaoundé (Fig. 23). Ce résultat témoigne d'un niveau de régénération appréciable dans tous les sites quelle que soit la saison. Toutefois, des nuances se rapportant aux précipitations influencent la régénération de *C. papyrus*.

Ainsi dans les marécages étudiés, deux pics de régénération d'inégale importance sont observés dans l'année. Le pic le plus important est observé en octobre pendant la grande saison des pluies et le pic de moindre importance apparaît en avril, au cours de la petite saison des pluies.

L'observation des proportions (Fig. 24) de régénération de *C. papyrus* indiquent que cette espèce se régénère essentiellement par voie végétative. En effet, la régénération végétative occupe $83,86 \pm 10,43$ % en moyenne. Par contre, les individus issus des semis sont sporadiquement observés sur l'ensemble des placettes et ne représentent que $16,14 \pm 3,53$ %. En effet, la régénération par semis a essentiellement été notée au niveau des microhabitats des bordures de Mvan-Ahala et de l'Etang de la Retenue 1 et 2, avec une densité moyenne de $35 \pm 1,05$ / m² où les activités liées à l'élevage n'ont pas été constatées. La régénération par semis est négligeable sur le Lac Municipal.

Globalement, il existe une alternance mensuelle entre la régénération végétative et la floraison de *C. papyrus*. En effet, le nombre de rejets (Fig.25. A) régresse dans l'ensemble avec le nombre d'individus fleuris (Fig.25. B) dans les différents marécages. Le nombre de rejets varie de $10 \pm 2,08$ à $45 \pm 8,11$. Il est maximal dans l'Etang de la Retenue 1 au mois d'octobre et reste minimal à Mvan-Ahala au mois de février. Tandis que le nombre moyen d'individus fleuris est élevé en juillet pendant la petite saison sèche. Il convient toutefois de noter que le nombre d'individus fleuris est particulièrement élevé à Mvan-Ahala en général et faible à l'étang de la retenue et le Lac Municipal. Ce résultat met en évidence les nuances écologiques qui existent entre les différents marécages. En effet, les marécages de Mvan-Ahala sont situés dans les conditions relativement plus sèches par rapport à ceux de l'étang de la retenue et du Lac Municipal. Ainsi, au cours de l'année, il apparaît que les précipitations favorisent l'installation des rejets tandis que la sécheresse semble déclencher la floraison. Ce résultat indique que la régénération végétative et la floraison de *C. papyrus* se compensent dans les marécages sous étude.

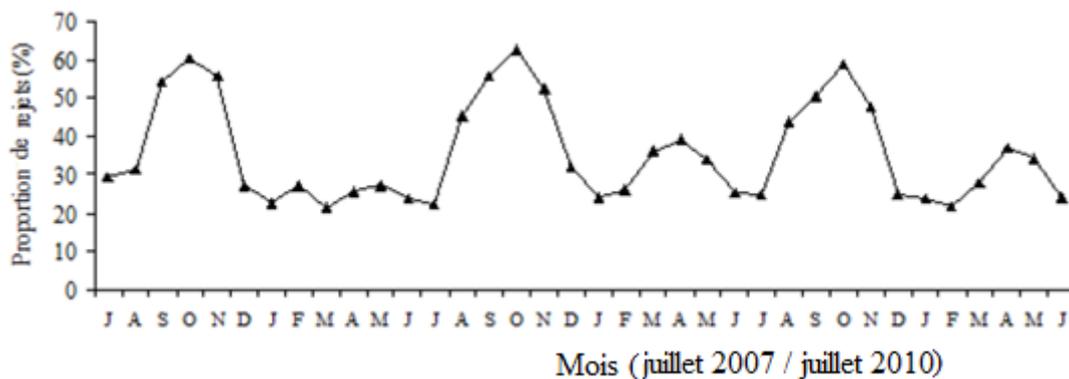


Fig.23. Evolution mensuelle de la proportion de rejets de *C. papyrus* dans les marécages de Yaoundé au cours de la période d'étude.

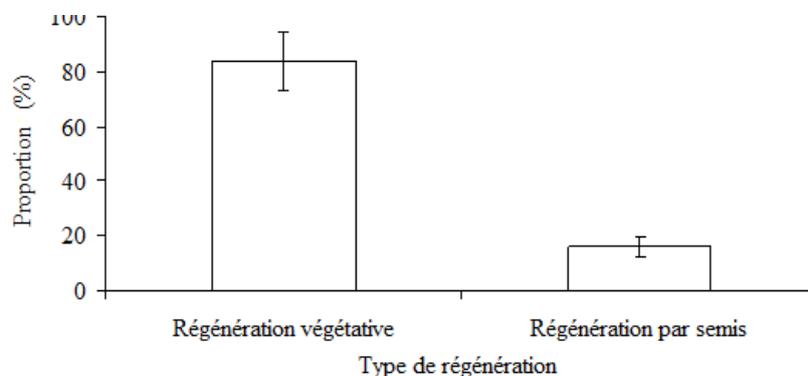


Fig.24. Proportions moyennes de régénération de *C. papyrus* dans les marécages de Yaoundé.

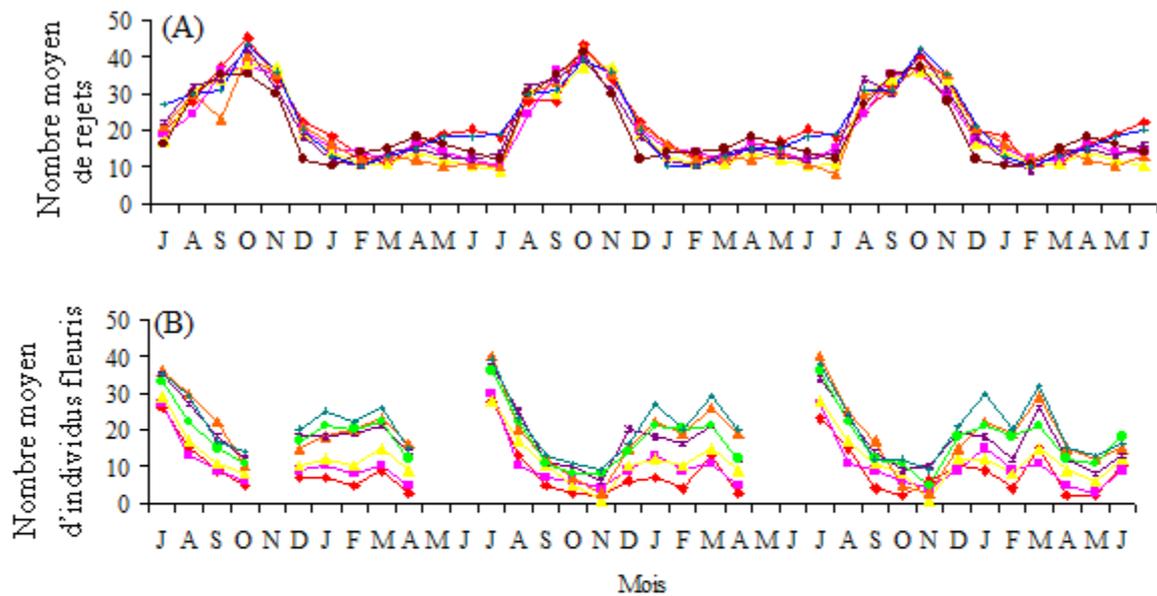
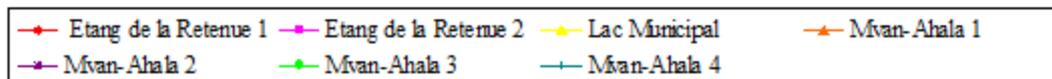


Fig. 25. Evolution mensuelle du nombre moyen de rejets (A) et d'individus fleuris (B) de *C. papyrus* dans les marécages de Yaoundé pendant la période d'étude (juillet 2007 / juillet 2010).



III-1-3-2- Facteurs abiotiques favorables à la dynamique de *C. papyrus*

L'analyse des facteurs de la dynamique de *C. papyrus* a été effectuée. Il ressort des résultats obtenus que la proportion des rejets est fortement corrélée ($R^2 = 0,97$) au degré d'hydromorphie du milieu dans les marécages (Fig. 26). En effet, il apparaît que l'abondance des rejets est liée à la constance des conditions d'humidité. C'est ainsi que la proportion des rejets est faible aux bordures et plus élevée dans les microhabitats des zones en permanence humides (Fig. 27.) où le « sous-bois » est moins éclairé et plus humide. En effet, la proportion des rejets est supérieure à 50 % dans les zones en permanence humides, quel que soit le marécage considéré. Dans les bordures des marécages, la proportion moyenne des rejets est relativement faible et varie entre $25,79 \pm 2,45$ (Etang de la Retenue 1) et $48,92 \pm 1,05$ (Mvan-Ahala 3). Ce dernier résultat laisse apparaître que la répétition des rejets basaux de *C. papyrus* est ralentie lorsque le sol est physiologiquement sec et plus éclairé.

Le second facteur de la dynamique est l'action anthropique à travers les coupes de tiges de *C. papyrus* pour diverses raisons. Cette activité anthropique entraîne une ouverture plus ou moins importante du couvert et en conséquence favorise la régénération de *C. papyrus* (Fig.28.). Comme on peut le noter, dans les zones soumises aux coupes de tiges de *C. papyrus*, la tendance générale est à l'augmentation du nombre de rejets avec une proportion

de 57, 74 ± 10,09 %. Par contre, cette situation s'inverse dans les zones exemptes de toute trace d'anthropisation et donc sous couvert dense où on a 42,26 ± 7,12 % de rejets. Ces résultats mettent en évidence les effets de la structure spatiale du couvert sur la régénération végétative de *C. papyrus*.

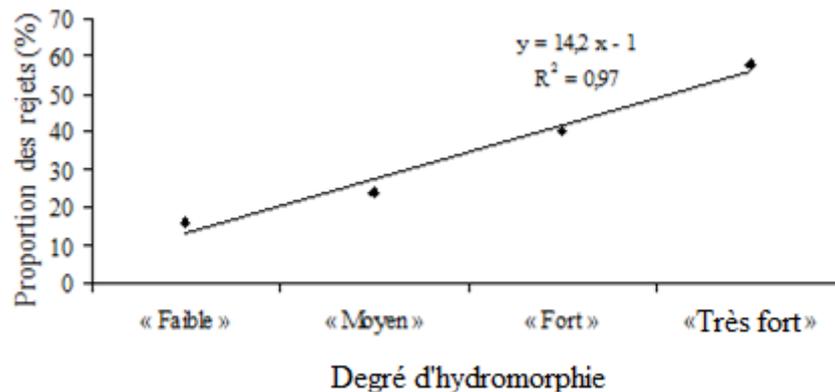


Fig.26. Corrélation entre la proportion de rejets de *C. papyrus* et le degré d'hydromorphie des marécages de Yaoundé.

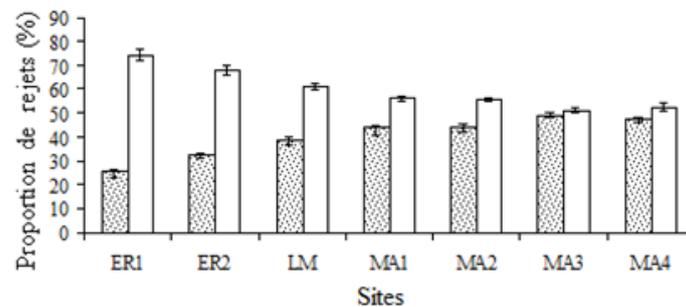


Fig. 27. Proportions de rejets de *C. papyrus* dans les marécages de Yaoundé en fonction des microhabitats dans les différents sites. BOR : bordures ; ZPH : zones en permanence humides. ER : Etang de la Retenue ; LM : Lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala.

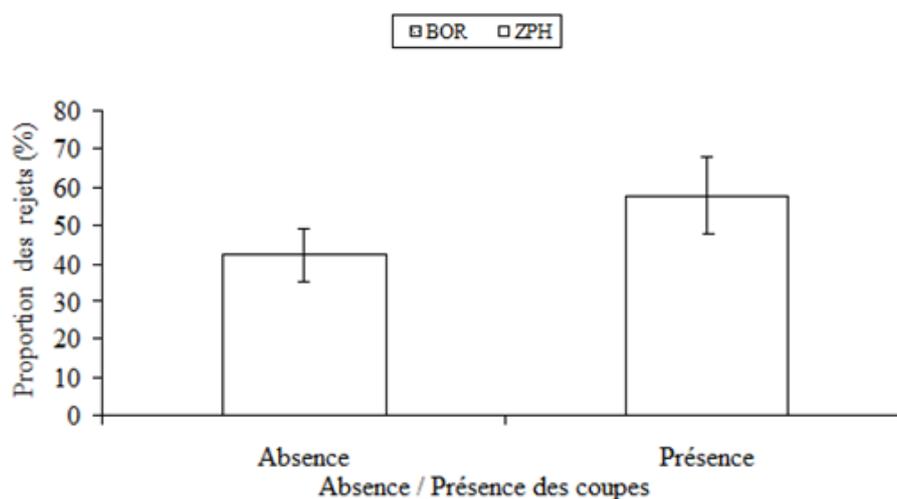


Fig.28. Proportions moyennes des rejets de régénération en fonction des coupes de *C. papyrus* d'origine anthropique dans les marécages de Yaoundé.

III-1-3-3- Disparition des tiges de *C. papyrus*

L'analyse des résultats de l'inventaire montre que les taux de disparition les plus élevés ont été enregistrés dans les marécages de Mvan-Ahala et dans une moindre mesure dans le marécage du Lac Municipal. Ces taux sont de $51,25 \pm 3,03$; $55,10 \pm 1,61$; $52,37 \pm 1,82$ et $50,72 \pm 3,55$ % de tiges sur les bordures respectivement à Mvan-Ahala 1, 2, 3 et 4. Les taux de disparition élevés des peuplements de *C. papyrus* dans ces marécages s'expliquent par trois facteurs : les coupes d'origine anthropique, les feux de brousse (pour des raisons agricoles), le déficit hydrique et la floraison de la plante. En ce qui concerne le dernier facteur mentionné, la mort de la plante après floraison serait un comportement naturel qui, en l'absence des autres causes de la disparition ne peut entraver la reconstitution des peuplements de l'espèce.

Dans les zones en permanence humides de l'Etang de la Retenue 1, Etang de la Retenue 2 et du Lac Municipal, les taux de disparition sont les plus bas ; ils sont respectivement de $14,65 \pm 3,06$; $16,09 \pm 1,54$ et $15,77 \pm 1,05$ % (Tableau XXIII).

Tableau XXIII. Taux de disparition annuelle (%) de *C. papyrus* dans les différents marécages de Yaoundé. BOR : bordures ; ZPH : zones en permanence humides. ER : étang de la retenue ; LM : lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala.

	ER1	ER2	LM	MA1	MA2	MA3	MA4
BOR	$39,38 \pm 0,18$	$32,03 \pm 2,76$	$42,63 \pm 5,03$	$51,25 \pm 3,03$	$55,10 \pm 1,61$	$52,37 \pm 1,82$	$50,72 \pm 3,55$
ZPH	$14,65 \pm 3,06$	$16,09 \pm 1,54$	$15,77 \pm 1,05$	$23,41 \pm 2,40$	$20,14 \pm 1,08$	$21,39 \pm 2,16$	$21,24 \pm 2,74$

III-1-4- PHENOLOGIE FLORALE DE *C. papyrus*

III-1-4-1- Evolution de la floraison

Dans l'année, deux pics d'inégale importance sont observés : l'un en juillet pendant la petite saison sèche, et l'autre à mi-mars au début de la petite saison des pluies (Fig. 29). Cette caractéristique souligne l'existence d'une saisonnalité de la floraison chez *C. papyrus* dans les marécages de Yaoundé. En effet, les floraisons observées pendant la petite saison sèche sont de grande importance et peu étalées dans le temps. A l'opposé, celles observées au début de la petite saison des pluies sont moins importantes, mais de durée plus longue. Cependant, des floraisons d'importance moindre se produisent pendant la grande saison sèche, de décembre à février.

Il est aussi à souligner que d'autres facteurs écologiques, en dehors des précipitations, déterminent la floraison de *C. papyrus* dans les marécages de Yaoundé. Ces facteurs concernent l'insolation (Fig.30.) et le pH du milieu (Fig.31.) qui déclenchent la floraison. C'est ainsi qu'en rapport avec l'insolation, les floraisons les plus abondantes s'observent aux faibles éclaircissements, notamment pendant les mois de juillet et d'août. Les mois de forte insolation ne sont généralement pas propices à la floraison à l'exemple de la grande saison sèche.

Le pH moyen des eaux interstitielles des sédiments montre des variations mensuelles en relation avec les saisons dans la région de Yaoundé. On y observe ainsi deux gradients différents. Le premier montre une augmentation du pH en saison des pluies avec un maximum de 6,5. Le second gradient montre des valeurs de pH relativement plus faibles en saison sèche avec un minimum de 5. Ces observations laissent penser que pendant la grande saison des pluies, la teneur en cations métalliques augmente de manière significative et par conséquent le pH tend à s'élever. En saison sèche, des zones oxydantes avec un pH relativement plus acide se démarquent. Elles offriraient alors des conditions favorables à la floraison de *C. papyrus*. Ainsi, les faibles valeurs de pH obtenues en saison sèche détermineraient les deux pics annuels de floraison observée pendant la petite saison sèche et la fin de la grande saison sèche (mi-mars).

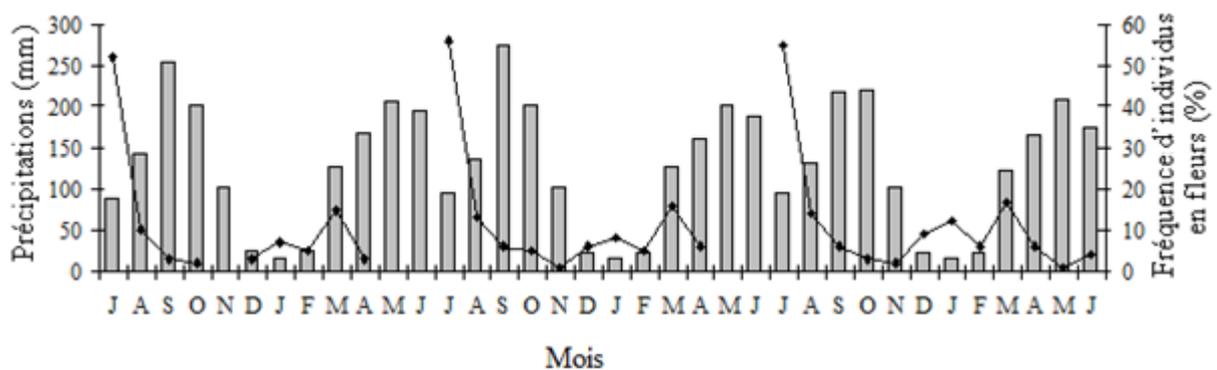


Fig.29. Evolution mensuelle des précipitations et de la floraison de *C. papyrus* dans les marécages de Yaoundé au cours de la période d'étude (juillet 2007-juillet 2010).



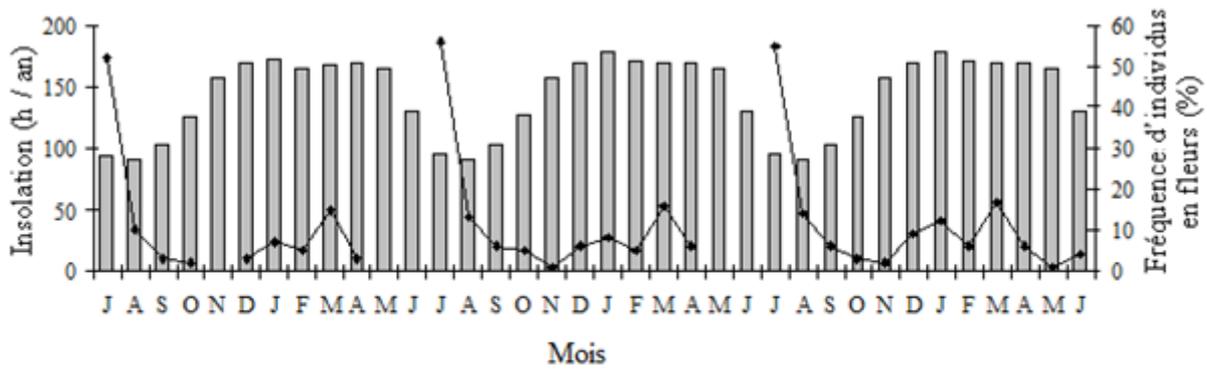


Fig.30. Evolution mensuelle de l'insolation et de la floraison de de *C. papyrus* dans les marécages de Yaoundé au cours de la période d'étude (juillet 2007-juillet 2010).

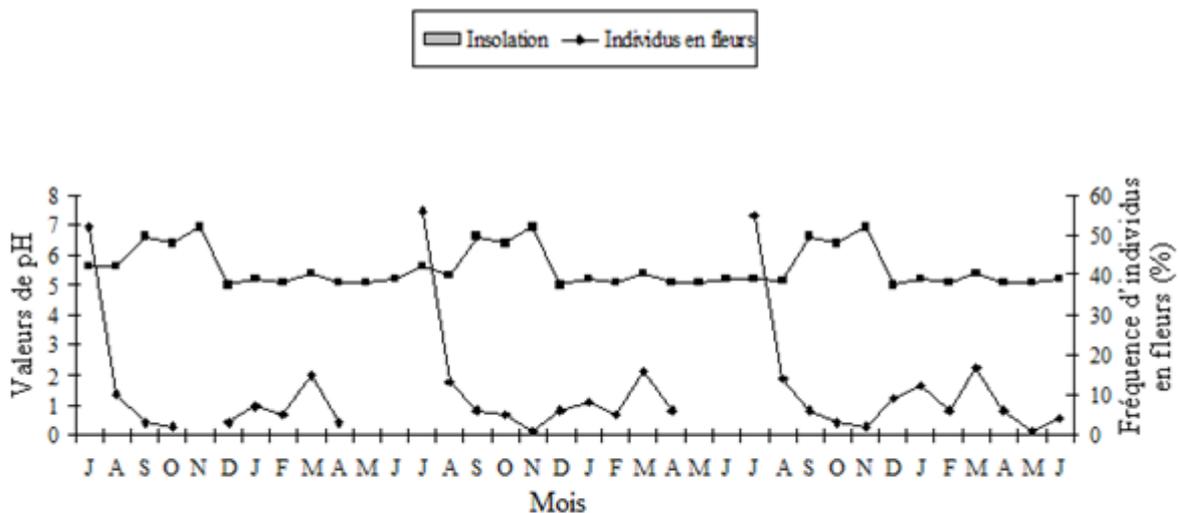


Fig.31. Evolution mensuelle du pH des eaux interstitielles des sédiments et de la floraison de *C. papyrus* dans les marécages de Yaoundé au cours de la période d'étude (juillet 2007-juillet 2010).

III-1-4-2- Variations intra et inter-biotopes

Au cours du suivi de la phénologie de floraison de *C. papyrus*, il a été observé que la proportion d'individus fleuris est plus élevée dans les bordures et faibles dans les zones en permanence humides quelle que soit la placette considérée (Fig. 32). La proportion d'individus fleuris se situe entre $50,02 \pm 3,27 \%$ (Etang de la Retenue 2) et $71,09 \pm 8,01 \%$ (Mvan-Ahala 2) pour les bordures ; et de $29,89 \pm 3,65 \%$ (Lac Municipal) et $49,98 \pm 3,09 \%$ (Etang de la Retenue 2) pour les zones en permanence humides. La proportion d'individus fleuris est comparable entre les bordures de l'Etang de la Retenue 1 et 2 et entre les bordures du Lac Municipal et de Mvan-Ahala 2. Tandis que les proportions d'individus fleuris de

Mvan-Ahala 1, 3 et 4 présentent des différences significatives avec les bordures des autres sites.

Dans les zones en permanence humides les proportions d'individus fleuris présentent des différences significatives entre les différents marécages. En effet, les faibles proportions d'individus fleuris observés dans les zones en permanence humides sont à relier aux conditions écologiques (forte humidité) moins sévères qui limiteraient la floraison de *C. papyrus*.

En fonction du diamètre, il ressort que la proportion d'individus fleuris la plus élevée se situe entre 42,04 et 57,10 % pour tous les marécages (Fig. 33). Ces individus correspondent à la classe 50-60 mm de diamètre. Toutefois, une précocité de floraison est observée à la classe de diamètre 20-30 mm dans le site de l'Étang de la Retenue 1. Ce résultat s'explique par les facteurs édaphiques. En général, à la différence des individus de la classe de diamètre précédent, la floraison est tardive chez les individus de plus de 70 mm de diamètre.

Même si la durée de la floraison reste plus longue dans les zones en permanence humides par rapport aux bordures, il convient de noter que de nombreux individus se trouvant dans les placettes disposées au sein des zones en permanence humides bouclent leur cycle biologique sans fleurir.

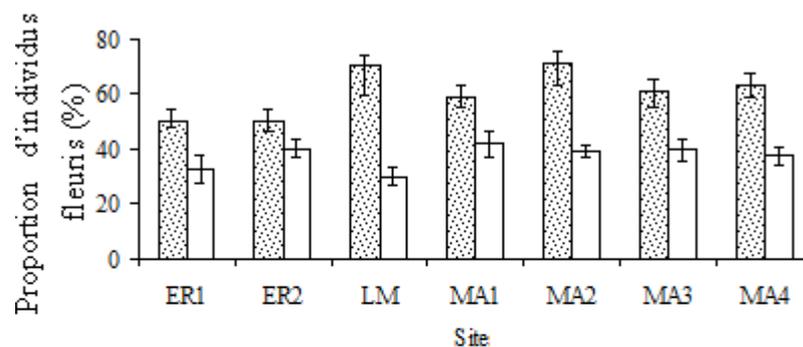


Fig.32. Proportions d'individus de *C. papyrus* fleuris observées dans les microhabitats des différents sites marécageux de Yaoundé. BOR : bordures ; ZPH : zones en permanence humides. ER : étang de la retenue ; LM : lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala.

■ BOR □ ZPH

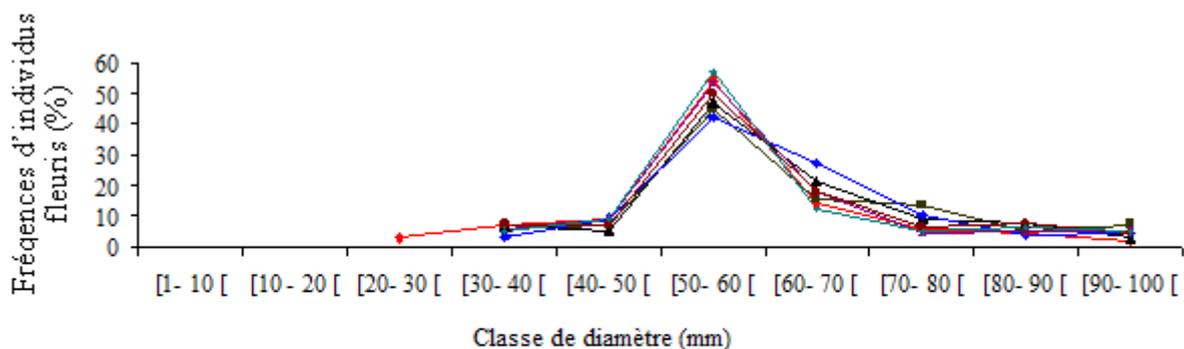
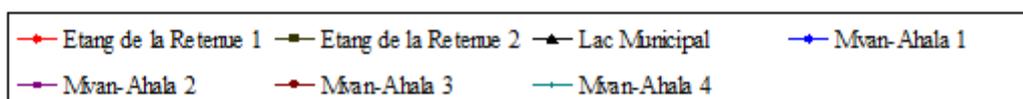


Fig.33. Evolution de la floraison de *C. papyrus* en relation avec le diamètre des individus dans les marécages de Yaoundé.



III-1-4-3- Floraison de *C. papyrus* en relation avec les caractéristiques édaphiques

III-1-4-3-1- Eléments minéraux totaux du sol

L'étude des variations de la teneur en minéraux totaux des différents types de milieux identifiés a été abordée dans le cadre du présent travail (Tableau XXIV). L'analyse de variance montre que la teneur en éléments minéraux est liée au type de milieu de façon hautement significative ($p < 0,05$), alors que l'horizon du sol n'a aucune influence sur la teneur en éléments minéraux analysés, excepté le Mn. En effet, les éléments minéraux majeurs, à savoir : le calcium, le sodium, le potassium, le phosphore et dans une moindre mesure l'azote sont plus disponibles dans les zones en permanence humides, contrairement au manganèse dont les teneurs sont plus importantes dans les placettes localisées sur les bordures.

Pour ce qui concerne les valeurs de pH, on observe dans l'ensemble que les microhabitats de zones en permanence humides présentent un pH élevé (> 6) que les bordures (< 6). Ce résultat s'explique par la richesse des zones en permanence humides en cations métalliques Ca^{++} , K^+ et Na^+ .

De ce qui précède, on peut dire que la biodisponibilité des éléments minéraux des marécages à *C. papyrus*, ne varie pas de manière significative ($p < 0,05$) avec les horizons. Celle-ci est généralement plus importante au niveau des microhabitats de zones en permanence humides, notamment au niveau des horizons de surface.

Tableau XXIV. Caractéristiques physico-chimiques dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* de Yaoundé (n = 7).

Microhabitat		Bordure	Zone en permanence humide
niveau 0-30 cm	Ca (g /100 g)	4,23 ± 0,00	5,09 ± 0,68
	Fe (g /100 g)	4,97 ± 0,75	11,30 ± 2,07
	K (g /100 g)	1,35 ± 0,26	2,72 ± 0,74
	Mg (g /100 g)	2,6 ± 1,50	1,13 ± 0,12
	Mn (mg/ kg)	1358 ± 106,05	403 ± 28,09
	N _{total} (g / kg)	4,78 ± 0,11	2,68 ± 0,13
	Na (g /100 g)	2,25 ± 0,18	3,8 ± 0,38
	P (g / kg)	3,14 ± 0,06	5,3 ± 1,44
	pH	5,2 ± 1,45	6,24 ± 1,72
niveau 30-60 cm	Ca (g /100 g)	3,93 ± 0,41	4,98 ± 1,05
	Fe (g /100 g)	4,65 ± 0,38	8,24 ± 2,09
	K (g /100 g)	0,19 ± 0,00	1,82 ± 0,56
	Mg (g /100 g)	2,09 ± 0,35	0,86 ± 0,01
	Mn (mg/ kg)	655 ± 25,68	453 ± 12,76
	N _{total} (g / kg)	3,78 ± 1,49	2,38 ± 1,43
	Na (g /100 g)	2,07 ± 1,22	3,54 ± 1,03
	P (g / kg)	3,11 ± 0,78	4,9 ± 1,28
	pH	5,14 ± 0,71	6,31 ± 0,21

III-1-4-3-2- Teneur en éléments minéraux des individus

L'analyse de variance met en évidence un effet significatif du type de milieu et de la teneur en éléments minéraux des individus sur la floraison (Tableau XXV). Les résultats indiquent que le stress hydrique des bordures ainsi que des teneurs favorables en certains éléments minéraux par rapport aux zones en permanence humides ont un effet stimulateur sur la floraison de *C. papyrus*. En effet, il ressort que le type de milieu influence de manière significative ($p < 0,05$) les teneurs en Ca, K et P qui sont pratiquement moins élevés chez les individus jeunes en floraison (IJ⁺) des bordures que ceux des individus des zones en permanence humides, tout stade de développement confondu (IJ, IJ⁻, IM⁻ et IM⁺).

Par ailleurs, il est à noter que le Mn et Mg influenceraient significativement la floraison avec des teneurs plus élevées chez les individus des bordures que chez ceux se développant dans les zones en permanence humides. Les teneurs en Mg et Mn pour IJ⁺,

IM⁺ et IM⁺⁺ sont respectivement de 220 ± 13, 288 ± 13 et 206 ± 15 mg / 100g MS ; 113 ± 5 ; 292 ± 22 et 128 ± 4 mg / 100g MS pour les bordures des marécages.

Il devient donc important de souligner que c'est au niveau des individus fleuris des bordures que les teneurs en Mg et Mn sont plus élevées, suggérant que l'un des facteurs qui influencent le plus la floraison est la concentration du milieu en certains éléments minéraux. L'assimilabilité du Mn et Mg par les IJ⁺, IM⁺ et IM⁺⁺ serait donc fortement améliorée par la baisse du pH dans les bordures par rapport aux zones en permanence humides des marécages. On peut aussi remarquer que dans les zones en permanence humides, les fortes teneurs en Ca, K pour les individus jeunes et matures non fleuris, et dans une moindre mesure la richesse en P pour les individus matures et senescents, semblent limiter la floraison de *C. papyrus* dans les sites étudiés.

Il apparaît ici que les teneurs élevées en Mn et Mg sont déterminantes pour la floraison d'individus de *C. papyrus*. En effet, la fonction biochimique du Mn dans le métabolisme des plantes est lié à l'activation de certaines enzymes telles que les métallo-protéines, la synthèse de la chlorophylle, la photosynthèse où le Mn joue un rôle déterminant dans le transport photosynthétique d'électrons au niveau de l'oxygène accepteur final, et la réduction des nitrates au niveau de l'hydroxylamine réductase. Ce résultat indique donc qu'en cas d'une carence manganique c'est le système photosynthétique qui est altéré en premier. Le Mg quant à lui est un composant de la chlorophylle et activateur de nombreuses enzymes telles que les phytochromes.

Dans l'ensemble, au niveau des individus fleuris situés sur les bordures des marécages à *C. papyrus*, la tendance générale est à la diminution des teneurs en Ca, K et en P en comparaison avec les individus non fleuris des zones en permanence humides de même diamètre. Par ailleurs il est à souligner que l'épictèse diminue généralement avec le stade de développement (Tableau XXV).

III-1-4-4- Analyse en composantes principales des individus fleuris ou non de Yaoundé

L'analyse en composantes principales a permis de visualiser les corrélations entre les éléments minéraux et de répartir les individus fleuris ou non en fonction des types de milieux. Les différentes matrices de corrélation permettent d'observer les intercorrélations qui existent entre les teneurs en éléments minéraux et les individus fleuris ou non, se développant sur les bordures ou les zones en permanence humides (Tableau XXVI).

Il ressort de ces analyses que : Ca et K ($r^2 = 0,844$), puis Mg et Mn ($r^2 = 0,963$) sont positivement corrélés entre eux. Tandis qu'on observe une corrélation hautement négative entre Ca et N ($r^2 = -0,789$), Mg et Na ($r^2 = -0,748$) enfin Mg et P ($r^2 = -0,753$). L'emplacement des individus fleuris tout stade confondu (BIJ⁺, BIM⁺ et BIM⁺⁺) dans le nuage correspondant aux variables ayant une forte contribution positive sur F1 (Fig. 34), permet de présumer que le Mg, Mn et l'N favorisent la floraison de *C. papyrus* sur les bordures des marécages.

III-1-4-5- Etude comparative de la floraison de *C. papyrus*

Les caractéristiques de la floraison de *C. papyrus* présentent des similitudes mais aussi des différences considérables dans les marécages de Yaoundé (Tableau XXVII).

En effet, parmi les similitudes, on observe communément la pleine floraison en janvier, suivie de la chute des pièces florales en mars. Par ailleurs, il ressort que la floraison de *C. papyrus* est négativement corrélée avec le degré d'hydromorphie ($R^2 = 0,95$) (Fig. 35). En effet, lorsque le niveau d'hydromorphie est faible, associée à des teneurs en Mg, Mn et N favorables, la floraison de *C. papyrus* est maximale. Cette situation s'observe au niveau des bordures de l'ensemble des communautés marécageuses. En revanche, dans les conditions d'hydromorphie élevée, la floraison est limitée, telle que nous l'avons observée dans les zones en permanence humides des marécages sous étude.

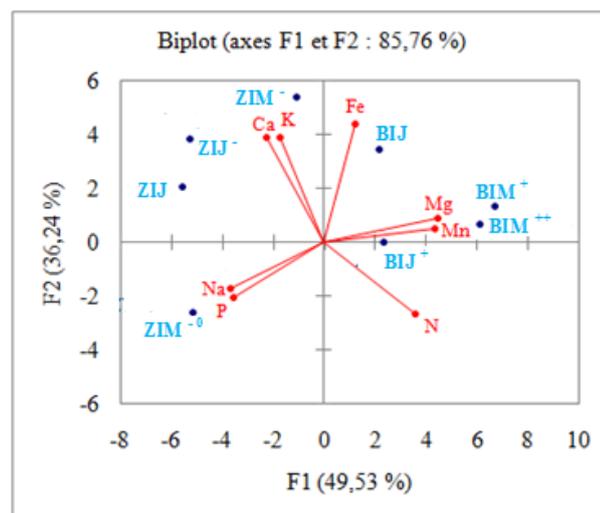


Fig.34. Analyse en composantes principales des éléments minéraux et d'individus de *C. papyrus* fleuris ou non. B : bordures ; Z : zones en permanence humides; IJ : individus jeunes; IJ⁺ : individus jeunes en floraison ; IM⁺ : individus matures en floraison ; IM⁺⁺ : individus matures en pleine floraison ; IJ⁻ : individus jeunes non fleuris ; IM⁻ : individus matures non fleuris ; IM⁰ : individus matures non fleuris et senescents.

Tableau XXV. Teneur en éléments minéraux (mg / 100 g MS) des individus de *C. papyrus* fleuris ou non dans les microhabitats marécageux de Yaoundé. BOR : bordures ; ZPH : zones en permanence humides ; IJ : individus jeunes; IJ⁺ : individus jeunes en floraison ; IM⁺ : individus matures en floraison ; IM⁺⁺ : individus matures en pleine floraison ; IJ⁻ : individus jeunes non fleuris ; IM⁻ : individus matures non fleuris ; IM⁻⁰ : individus matures non fleuris et senescents; n = 10. Les valeurs affectées de la même lettre dans la même colonne ne sont pas significativement différentes après comparaison par PPDS avec P < 0,05.

Microhabitat	Stades de développement	Classe de diamètre (mm)	Ca	Fe	K	Mg	Mn	N	Na	P
BOR	IJ	1-10	324 ± 8 c	132 ± 6 c	1875 ± 265b	261 ± 21 d	197 ± 11 d	224 ± 23 b	3,0 ± 0,6 a	80 ± 14 a
	IJ ⁺	10-20	186 ± 7 a	87 ± 5 b	1070 ± 28 a	220 ± 13 d	113 ± 5 c	240 ± 21 b	3,9 ± 0,2 a	77 ± 14 a
	IM ⁺	50-60	170 ± 11 a	67 ± 4 a	1001 ± 21 a	288 ± 13 d	292 ± 22 e	399 ± 36 c	4,6 ± 0,6 a	82 ± 10 a
	IM ⁺⁺	90-100	146 ± 24 a	46 ± 11 a	887 ± 30 a	206 ± 15bc	128 ± 4 c	431 ± 39 c	4,5 ± 0,1 a	129 ± 11 b
ZPH	IJ	1-10	343 ± 4 c	90 ± 6 b	2714 ± 163c	173 ± 22 a	72 ± 9 b	156 ± 5 a	5,7 ± 0,6 a	79 ± 12 a
	IJ ⁻	10-20	235 ± 22 b	69 ± 8 a	1761 ± 247b	148 ± 17 a	64 ± 5 b	188 ± 8 a	5,1 ± 0,5 a	293 ± 39 b
	IM ⁻	50-60	248 ± 10 b	66 ± 4 a	1312 ± 27 b	161 ± 29 a	59 ± 5 b	195 ± 12 a	5,7 ± 0,7 a	346 ± 41 b
	IM ⁻⁰	90-100	265 ± 21 b	53 ± 6 a	1087 ± 8 bc	147 ± 16 a	14 ± 4 a	198 ± 10 a	5,8 ± 0,2 a	409 ± 53 c

Tableau XXVI. Matrice de corrélation de Pearson entre les teneurs en éléments minéraux des individus de *C. papyrus* fleuris ou non. Les valeurs en gras sont significativement différentes de 0 à un niveau de signification alpha = 0,05 ; n = 7.

Variabes	Ca	Fe	K	Mg	Mn	N	Na	P
Ca	1							
Fe	0,626	1						
K	0,844	0,561	1					
Mg	-0,260	0,425	-0,219	1				
Mn	-0,311	0,309	-0,199	0,963	1			
N	-0,789	-0,385	-0,646	0,604	0,654	1		
Na	0,128	-0,647	0,135	-0,748	-0,629	-0,326	1	
P	0,071	-0,512	-0,215	-0,753	-0,689	-0,389	0,652	1

Tableau XXVII. Calendrier des différents stades de floraison de *C. papyrus* dans les marécages de Yaoundé au cours de la période d'étude (juillet 2007-juillet 2010). Fl₁ : stade de boutons floraux ; Fl₂ : stade de fleurs épanouies ; Fl₃ : stade de chute des pièces florales et probablement des fruits ; X : aucun stade lié à la floraison.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Stade de floraison	Fl ₂	Fl ₂	Fl ₂ et Fl ₃	Fl ₃	X	X	Fl ₁ et Fl ₂	Fl ₂	Fl ₂ et Fl ₃	Fl ₃	X	Fl ₁

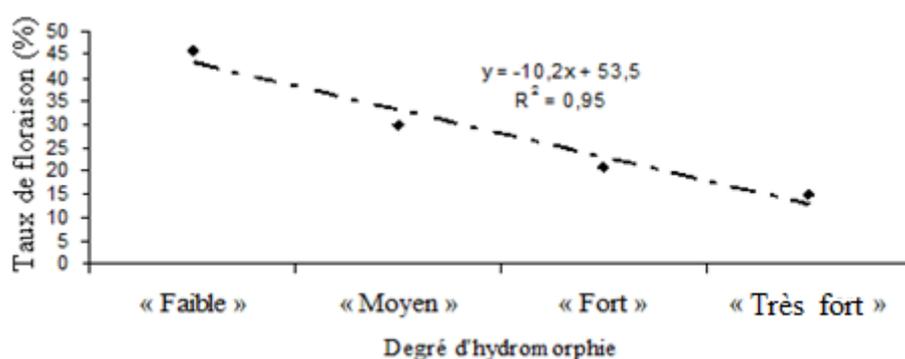


Fig.35. Corrélation entre le taux de floraison de *C. papyrus* et le degré d'hydromorphie des marécages de Yaoundé.

III-1-5- FONCTION DE PUIITS DE CARBONE DES MARECAGES A *C. papyrus*

III-1-5-1- STOCKS DE MATIERE ORGANIQUE CARBONEE

III-1-5-1-1- Distribution de MOC

Au total 70,73 t MOC /ha (soit $10,10 \pm 3,42$ t MOC / ha en moyenne) ont été mesurées dans la biomasse (aérienne et souterraine) des communautés marécageuses à *C. papyrus* de Yaoundé au cours de la période d'étude. La répartition de ces stocks moyens de MOC dans la biomasse aérienne et souterraine chez cette espèce varie d'un site à l'autre (Fig. 36). En effet, il ressort que l'Etang de la Retenue 1 comporte le stock de MOC le plus élevé avec $46,38 \pm 3,17$ t MOC / ha dans la biomasse. Par contre, le site de Mvan-Ahala 3 comporte le plus faible stock de MOC avec $0,56 \pm 0,04$ t MOC / ha. Cette situation s'expliquerait par le fait que le site de l'Etang de la Retenue 1 fournit d'abondantes ressources nutritives (nitrates et phosphates) à la population de *C. papyrus* par rapport au site de Mvan-Ahala 3 en particulier et des autres sites en général. Ces ressources nutritives provenant des eaux eutrophes provoqueraient l'augmentation de la densité (accroissement de la biomasse) de *C. papyrus* et en conséquence les stocks de MOC accumulés dans la biomasse de ce site.

La répartition des stocks de MOC dans les organes de *C. papyrus* indique des valeurs significativement élevées ($p < 0,05$) dans les organes souterrains par rapport aux organes aériens pour l'Etang de la retenue 1, l'Etang de la retenue 2 et Mvan-Ahala 1. Les stocks de MOC ne sont pas significativement différents entre les organes aériens et souterrains du Lac Municipal, de Mvan-Ahala 2, Mvan-Ahala 3 et Mvan-Ahala 4.

L'allocation de la MOC varie entre les microhabitats dans les différentes communautés marécageuses (Fig. 37.). En effet, les microhabitats ont des stocks de MOC compris entre $0,16 \pm 0,01$ t MOC / ha (Mvan-Ahala 3) et $13,30 \pm 3,76$ t MOC / ha (Etang de la retenue 1) pour les bordures $0,4 \pm 0,06$ t MOC / ha (Lac Municipal et Mvan-Ahala 3) et $33,08 \pm 8,54$ t MOC / ha (Etang de la Retenue 1) pour les zones en permanence humides. Ces résultats indiquent que les zones en permanence humides offrent des conditions favorables à l'accumulation du carbone dans la biomasse en général.

III-1-5-1-2- Relation entre la densité du peuplement et le stock de MOC

Les stocks de MOC dépendent de la densité des individus de *C. papyrus* dans les trois stades de recouvrement identifiés (Fig. 38.). En effet, on observe des variations des stocks de

MOC d'un type de placette à l'autre. Les valeurs moyennes sont globalement plus élevées dans les placettes entièrement recouvertes comparativement aux placettes moyennement recouvertes, avec respectivement $34,51 \pm 10,06$ t MOC / ha et $23,42 \pm 6,43$ t MOC / ha. Ces valeurs sont plus faibles dans les placettes faiblement recouvertes dans lesquelles on a obtenu $12,80 \pm 4,24$ t MOC / ha dans les différents marécages. Ces résultats démontrent sans ambiguïté que la structure de la population de *C. papyrus* influence le stockage de la matière organique carbonée.

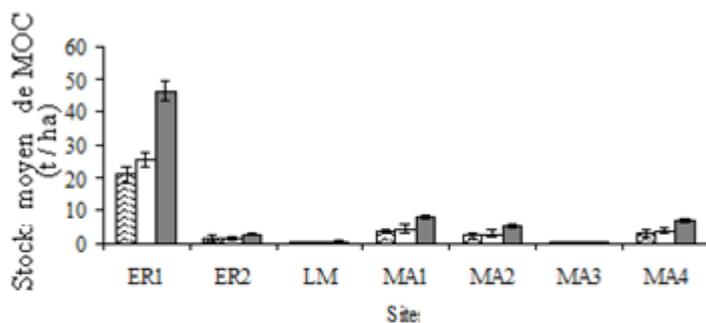


Fig.36. Répartition des stocks moyens de MOC de *C. papyrus* dans les différents marécages. MOC : matière organique carbonée. ER : Etang de la Retenue ; LM : Lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala.

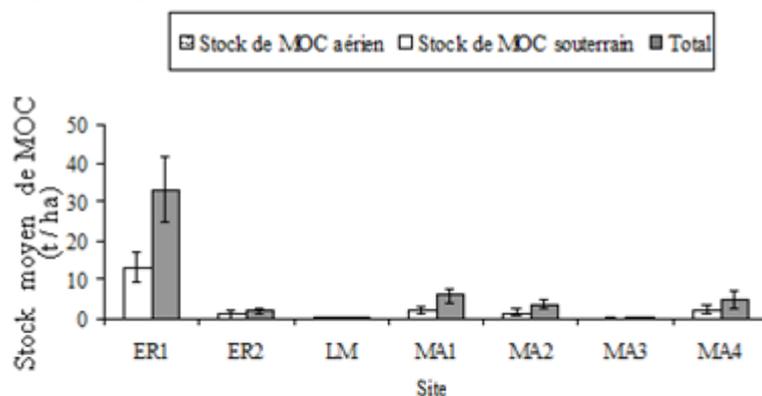


Fig.37. Répartition spatiale des stocks moyens de MOC de *C. papyrus* dans les différents marécages. BOR : bordures ; ZPH : zones en permanence humides. ER : Etang de la Retenue ; LM : Lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala.

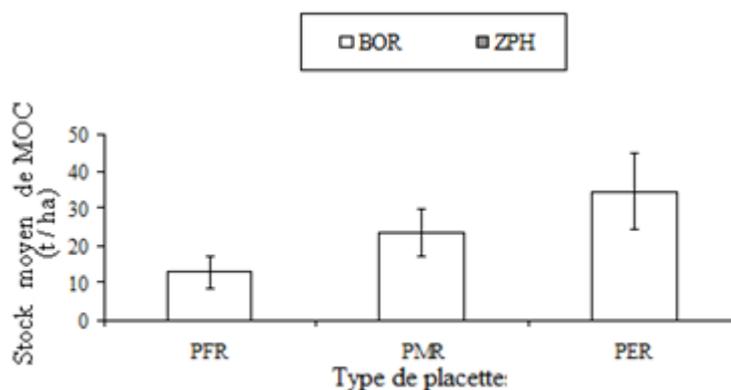


Fig.38. Stocks de MOC dans les différents types de placettes. PFR (n = 84): placettes faiblement recouvertes ; PMR (n = 73) : placettes moyennement recouvertes, PER (n =67) : placettes entièrement recouvertes.

III-1-5-1-3- Répartition des stocks de MOC dans les différents organes de *C. papyrus*

Les analyses portant sur la répartition des stocks de MOC dans les organes de *C. papyrus* montrent les valeurs les plus élevées dans le compartiment souterrain avec $40,90 \pm 20,48$ t MOC / ha, tandis que les plus faibles sont obtenues dans le compartiment aérien (Tableau XXVIII). L'essentiel de la MOC dans le compartiment souterrain est stocké dans les rhizomes avec $39,18 \pm 8,72$ t MOC / ha, soit 55,39 % du total de la MOC. En revanche, la MOC du compartiment aérien est principalement stockée dans la tige, avec $16,93 \pm 0,84$ t MOC / ha ; ce stock est significativement différent de celui des ombelles ($12,90 \pm 1,51$ t MOC / ha).

En considérant les principaux organes séquestrant de la MOC, il apparaît que le maximum de MOC se trouve dans les rhizomes chez *C. papyrus* (Fig.39.). Ce résultat suggère que le rhizome est l'organe principal qui confère à *C. papyrus* sa grande capacité de séquestration du carbone car il stocke plus de la moitié (55,39 %) du carbone de la biomasse.

III-1-5-1-4- Influence des caractères biométriques sur le stockage de la MOC

Les caractères biométriques considérés dans la présente étude concernent la morphologie de certains organes de l'appareil végétatif ; à savoir : le nombre de rayons par ombelle, le diamètre et la hauteur des tiges et le diamètre des rhizomes.

Les relations allométriques établies entre les différentes variables mesurées *in situ*, notamment le nombre de feuilles par ombelle (Fig. 40.), le diamètre des tiges (Fig. 41.), la hauteur des tiges (Fig.42.) et le diamètre des rhizomes (Fig.43.) présentent des coefficients de corrélation (R^2) dans l'ensemble supérieurs à 0,80. Ces valeurs montrent donc qu'il existe des corrélations hautement significatives et positives entre les variables biométriques et les stocks de MOC dans les organes de *C. papyrus*. Ces résultats indiquent aussi que les quantités de MOC stockées sont fonction de l'évolution dans le temps des différents organes de l'appareil végétatif de *C. papyrus*.

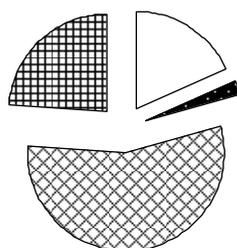


Fig. 39. Proportions de stocks de MOC dans les principaux organes de *C. papyrus*.

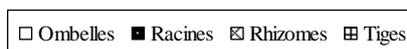


Tableau XXVIII. Répartition des stocks de MOC annuels (en t C / ha) dans les principaux organes de *C. papyrus* pendant la période d'étude (2007/2010). Pour un même compartiment, deux lettres différentes signalent une différence significative entre les organes ($p < 0,05$). SMOCT : stock de matière organique carbonée total ; % : pourcentage.

Compartiment	Organe	SMOCT		%
Aérien	Ombelle	12,90 ± 1,51 c	29,83 ± 2,85 b	42,17
	Tige	16,93 ± 0,84 b		
Souterrain	Rhizome	39,18 ± 8,72 a	40,90 ± 20,48 a	57,83
	Racine	1,72 ± 0,07 d		
Total		70,73		100

III-1-5-2- ETUDE COMPARATIVE DES STOCKS DE MOC DES DIFFERENTS

TYPES DE COMMUNAUTES MARECAGEUSES

Cette rubrique est consacrée à l'analyse des quantités de MOC contenue dans les types de communautés marécageuses étudiées, à *C. papyrus* et autres taxa.

De manière générale, les stocks de MOC évoluent en fonction des types de communautés marécageuses (Fig.44.). L'ordre général des stocks de MOC dans les différentes communautés est le suivant : marécages à *C. papyrus* ($10,10 \pm 3,42$ t MOC / ha) > marécages à *C. senegalense* et *R. corymbosa* ($0,34 \pm 0,10$ t MOC / ha) > marécages à *E. pyramidalis* ($0,26 \pm 0,00$ t MOC / ha). L'allocation de ces stocks de MOC varie d'un marécage à l'autre et d'un compartiment à l'autre. Ainsi les stocks moyens de MOC entre les

compartiments aériens et souterrains sont de : $29,83 \pm 2,85$ et $40,90 \pm 20,48$ t MOC / ha ; $0,20 \pm 0,06$ et $0,14 \pm 0,02$ t MOC / ha ; $0,16 \pm 0,04$ et $0,10 \pm 0,02$ t MOC / ha, respectivement pour les marécages à *C. papyrus*, à *C. senegalense* et *R. corymbosa* et marécage à *E. pyramidalis*. Ces résultats montrent que les stocks de MOC dans les organes aériens et souterrains sont voisins dans les marécages à *C. senegalense* et *R. corymbosa* et marécages à *E. pyramidalis*. Par ailleurs les faibles stocks de MOC obtenus dans les compartiments souterrains de ces marécages comparativement aux marécages à *C. papyrus* seraient liés aux incertitudes d'échantillonnage.

De manière générale, la quantité de MOC est plus faible dans la partie souterraine des marécages à *C. senegalense* et *R. corymbosa* et à *E. pyramidalis* et plus élevée dans les marécages à *C. papyrus*. Pour les communautés marécageuses à *C. papyrus*, le rapport entre la MOC souterrain et la MOC aérien est de 1,37.

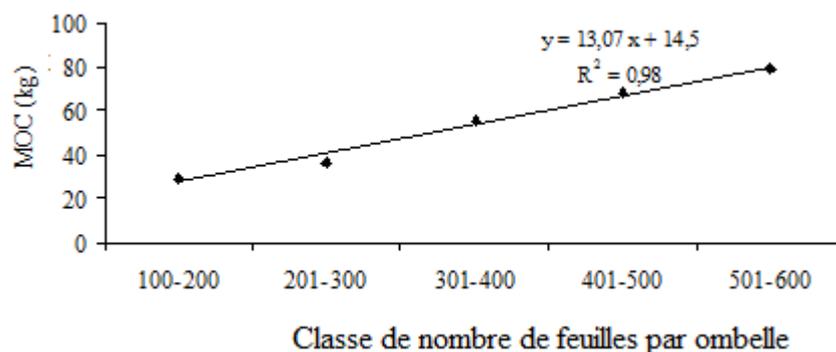


Fig. 40. Stocks moyens de MOC chez *C. papyrus* en fonction du nombre de feuilles par ombelle.

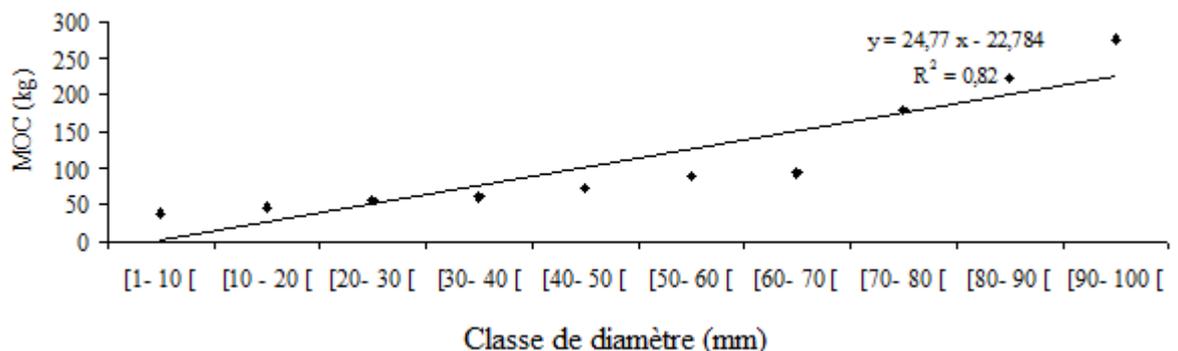


Fig. 41. Stock moyen de MOC chez *C. papyrus* en fonction du diamètre des tiges.

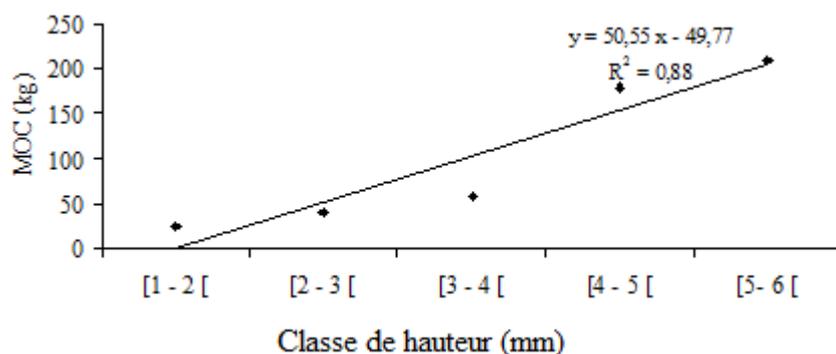


Fig. 42. Stock moyen de MOC chez *C. papyrus* en fonction de la hauteur de la tige.

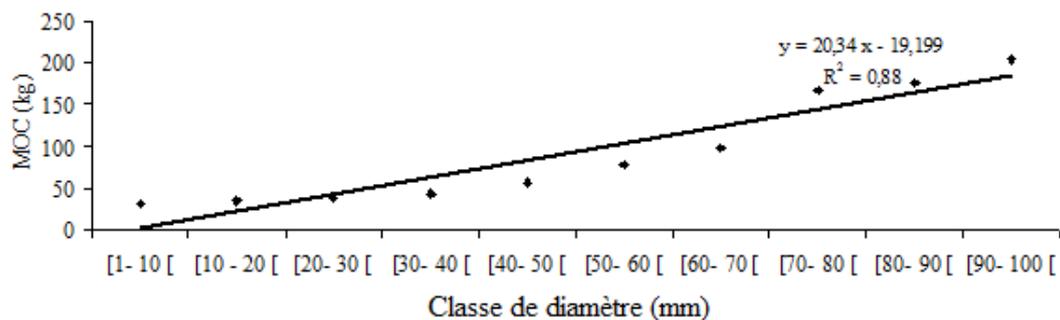


Fig. 43. Stock moyen de carbone chez *C. papyrus* en fonction du diamètre des rhizomes.

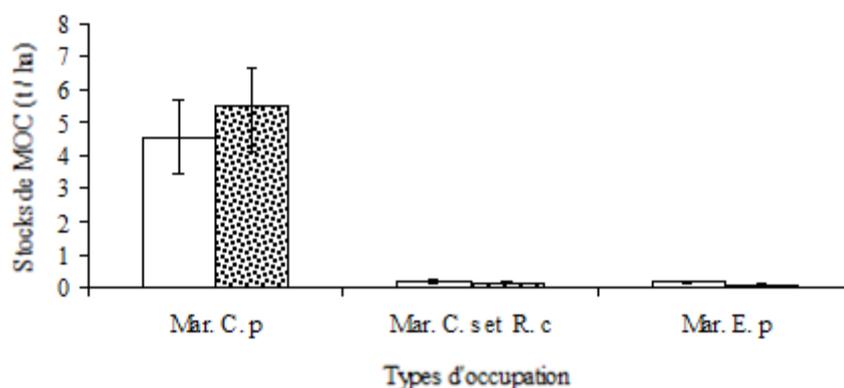


Fig. 44. Stock de MOC des différents types de marécages de Yaoundé. Mar.: marécages ; C. p (n = 7): *C. papyrus* ; C. s : *C. senegalense* ; E. p (n = 4) : *E. pyramidalis* ; R. c p (n = 3) : *R. corymbosa*.

□ MOC aérien ■ MOC souterrain

III-1-5-3- DYNAMIQUE DU CARBONE DANS LES MARECAGES

III-1-5-3-1- Distribution du carbone organique, de l'azote, du C/N et de la matière organique

Dans le cadre de la présente étude, les valeurs de N, CO, MO et C/N varient d'un type de marécages à l'autre et d'un niveau à l'autre. Les résultats obtenus (Tableau XXIX) montrent que les valeurs les plus élevées de ces différents paramètres sont observées dans les communautés marécageuses à *C. papyrus*, avec : $1,61 \pm 0,78$ g N. kg⁻¹ ; $76,48 \pm 10,64$ g CO. kg⁻¹ ; $132,05 \pm 18,31$ g MO. kg⁻¹ ; $53,13 \pm 0,21$ de C/N et plus faibles dans les

communautés marécageuses à *E. pyramidalis* avec : $0,38 \pm 0,15$ g N.kg⁻¹ ; $8,59 \pm 2,42$ g CO.kg⁻¹ ; $14,90 \pm 4,24$ g MO. kg⁻¹ ; $12,08 \pm 0,62$ de C/N. Ces valeurs sont intermédiaires dans les communautés marécageuses à *C. senegalense* et *R. corymbosa*. D'une manière générale, dans le cadre de ce travail, le CO semble lié à la quantité et à la qualité de MO. Par ailleurs, le quotient de CO des différents niveaux du sol (Tableau XXIX) reste supérieur à 1 et augmente de la bordure vers l'intérieur des marécages, à l'inverse de la profondeur. On a alors un déséquilibre accru entre les bordures (moins riches) et les zones en permanence humides (plus riches). Dans le même sens, les stocks de CO sont plus élevés en surface qu'en profondeur, quel que soit le type de communauté marécageuse.

Execepté le C/N, il apparait que l'N, le CO et la MO montrent les valeurs les plus élevées dans les premiers centimètres (0-30 cm) du sol. Ces valeurs sont particulièrement élevées dans les zones en permanence humides.

Tableau XXIX. Teneur (en g. kg⁻¹) en azote total, carbone et matière organique, et C/N suivant le type de marécage (n = 12). BOR : bordures ; ZPH : zones en permanence humides.

	Niveau (cm)	Microhabitat	N	CO	MO	C/N
Marécages à <i>C. papyrus</i>	0-30	BOR	$1,54 \pm 0,16$	$35,15 \pm 4,31$	$60,78 \pm 7,46$	$22,82 \pm 0,60$
		ZPH	$1,61 \pm 0,78$	$76,48 \pm 10,64$	$132,04 \pm 18,01$	$47,50 \pm 0,01$
	30-60	BOR	$0,47 \pm 0,04$	$18,10 \pm 0,28$	$31,35 \pm 0,49$	$38,51 \pm 0,28$
		ZPH	$0,48 \pm 0,80$	$25,51 \pm 3,31$	$44,10 \pm 5,37$	$53,13 \pm 0,21$
Marécages à <i>E. pyramidalis</i>	0-30	BOR	$1,20 \pm 0,25$	$14,49 \pm 0,48$	$24,93 \pm 3,98$	$12,08 \pm 0,62$
		ZPH	$1,48 \pm 0,91$	$27,03 \pm 7,04$	$46,75 \pm 12,09$	$18,26 \pm 0,11$
	30-60	BOR	$0,50 \pm 0,37$	$13,28 \pm 1,39$	$22,85 \pm 4,07$	$26,56 \pm 0,32$
		ZPH	$0,38 \pm 0,15$	$8,59 \pm 2,42$	$14,90 \pm 4,24$	$22,60 \pm 0,78$
Marécages à <i>C. senegalense</i> et <i>R. corymbosa</i>	0-30	BOR	$1,10 \pm 0,54$	$17 \pm 1,14$	$29,24 \pm 3,37$	$15,45 \pm 0,83$
		ZPH	$1,02 \pm 0,43$	$30,12 \pm 2,22$	$51,81 \pm 5,02$	$29,52 \pm 2,66$
	30-60	BOR	$0,80 \pm 0,15$	$10,10 \pm 1,14$	$17,37 \pm 1,13$	$12,63 \pm 1,74$
		ZPH	$0,42 \pm 0,06$	$11,50 \pm 1,35$	$19,78 \pm 1,46$	$27,31 \pm 2,55$

III-1-5-3-2- Déterminants du carbone organique dans les marécages à *C. papyrus*

III-1-5-3-2-1- Influence de la matière organique du sol

Le présent travail montre que la matière organique a une forte influence sur la quantité et la dynamique verticale de carbone organique dans les différents types de communautés marécageuses. On observe les corrélations les plus fortes et positives entre le carbone organique et la matière organique dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* (Fig.45.) par rapport aux marécages à *E. pyramidalis* (Fig.46.) et les marécages à *C. senegalense* et *R. corymbosa* (Fig.47.). En fonction des microhabitats, il apparaît que les corrélations entre le carbone organique et la matière organique sont plus fortes dans les zones en permanence humides que dans les bordures. Cette corrélation est plus élevée ($R^2 = 0,99$) dans les zones en permanence humides des marécages à *C. papyrus*.

Concernant la dynamique verticale du carbone organique, il ressort que les teneurs en carbone organique chutent moins brusquement avec la profondeur dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* (Fig.45 C et D) que dans les marécages à *E. pyramidalis* (Fig.46 C et D) et les marécages à *C. senegalense* et *R. corymbosa* (Fig.47 C et D). Ce résultat s'explique par le fait que les valeurs de carbone organique sont moins faibles en profondeur (30 -60 cm) dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* que dans les autres communautés marécageuses et témoignent d'apports de matière organique plus importants par les organes souterrains (rhizomes et racines). Ce caractère indique probablement un transfert plus actif de MO de la surface des profils vers la profondeur.

III-1-5-3-2-2- Humidité du sol

Les observations effectuées dans cette étude révèlent une diminution significative du carbone organique et de la teneur en azote (N) avec la profondeur. En effet, les teneurs en carbone organique et en azote apparaissent négativement corrélées en surface (0 – 30 cm) et positivement en profondeur (Fig.48.), avec une diminution nette de la surface vers la profondeur. Ce fait indique un taux d'humification faible. Le rapport C/N est de loin inférieur à 20 dans les bordures des marécages à *E. pyramidalis* ($12,08 \pm 0,62$) et *C. senegalense* et *R. corymbosa* ($15,43 \pm 0,60$) pour l'horizon 0-30 cm. Dans les zones en permanence humides des marécages à *C. papyrus*, et quel que soit l'horizon, ce rapport est supérieur à 30 (Tableau XXVI). Ce résultat montre que le degré d'hydromorphie favorise l'accumulation du carbone dans le sol.

III-1-5-3-2-3- Teneur en argile

Avec plus de 40 % d'argiles, quels que soient le microhabitat et le niveau considérés, les communautés marécageuses à *C. papyrus* sont les plus riches. Les relations établies entre les proportions d'argiles mesurées à 30 cm du sol indiquent des corrélations positives entre la teneur en carbone organique et le pourcentage d'argiles (Fig. 49.). Ces corrélations sont plus fortes dans les zones en permanence humides ($R^2 = 0,70$) que dans les bordures ($R^2 = 0,52$). Cette tendance se justifie par des différences de texture entre les zones en permanence humides et les bordures (Tableau XXXII). Ce résultat montre que la texture influence la dynamique du carbone dans le sol. En effet, la baisse de teneur en carbone organique observée dans les bordures (0-30 cm) des marécages à *E. pyramidalis* et à *C. senegalense* et *R. corymbosa* s'expliquerait en partie par leurs proportions d'argiles relativement faibles.

Tableau XXX. Distribution spatiale du carbone organique sur 0 – 30 et 30 – 60 cm dans les marécages de Yaoundé.

Type de marécage	Stock de CO (g.kg ⁻¹)		Quotient des stocks de CO 0 – 30 / 30 – 60 cm
	0 – 30	30 - 60	
<i>Marécages à C. papyrus</i>			
Bordures	35,15	18,10	1,94
Zones en permanence humides	76,48	25,50	2,99
<i>Marécages à E. pyramidalis</i>			
Bordures	14,49	13,28	1,09
Zones en permanence humides	27,03	8,59	3,14
<i>Marécages à C. senegalense et R. corymbosa</i>			
Bordures	17	10,10	1,68
Zones en permanence humides	30,12	11,50	2,63

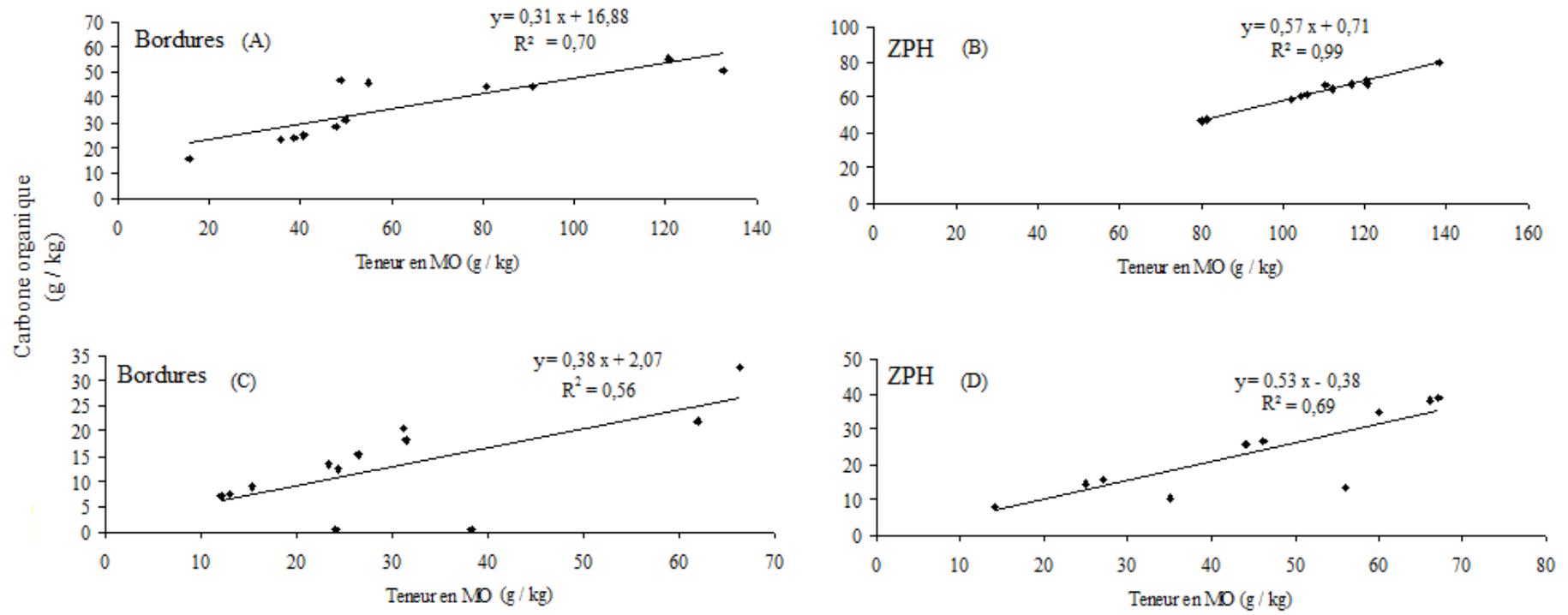


Fig. 45. Relation entre le carbone organique et la matière organique dans les bordures et les zones en permanence humides pour 0-30 cm (A et B) et 30-60 cm de profondeur (C et D) dans les marécages à *C. papyrus* (n = 12).

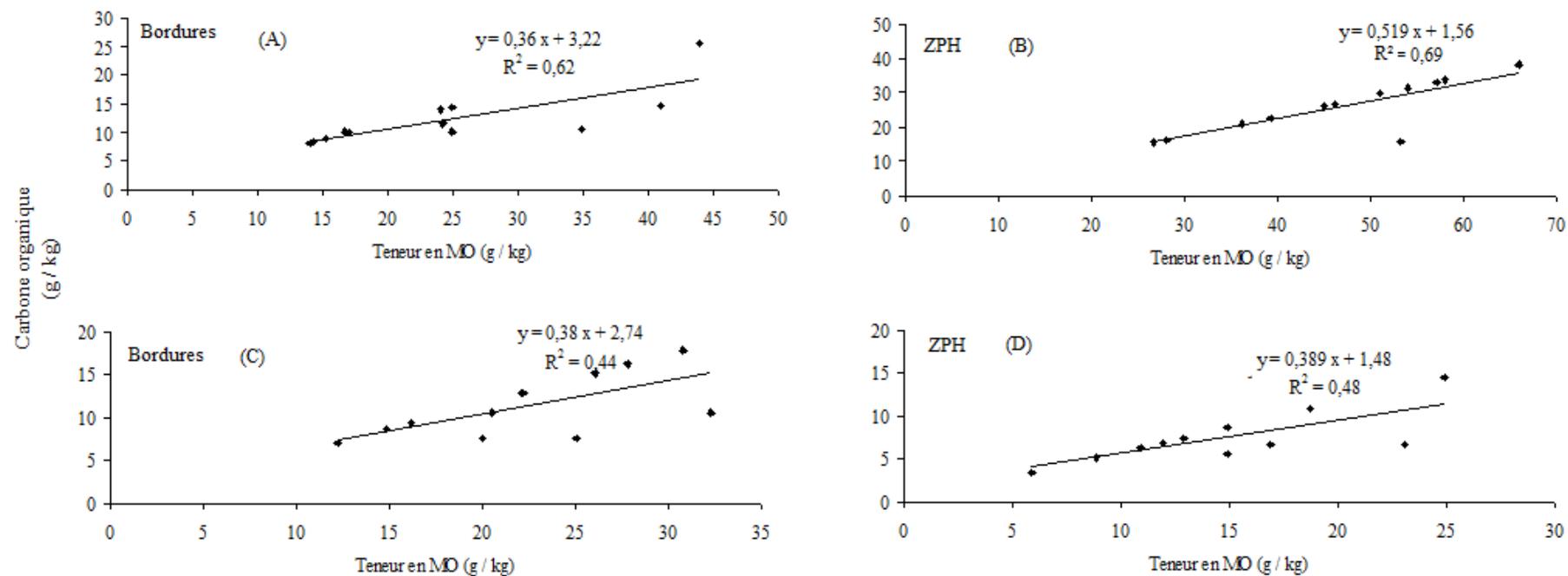


Fig. 46. Relation entre le carbone organique et la matière organique dans les bordures et les zones en permanence humides pour 0-30 cm (A et B) et 30-60 cm de profondeur (C et D) dans les marécages à *E. pyramidalis* (n = 12).

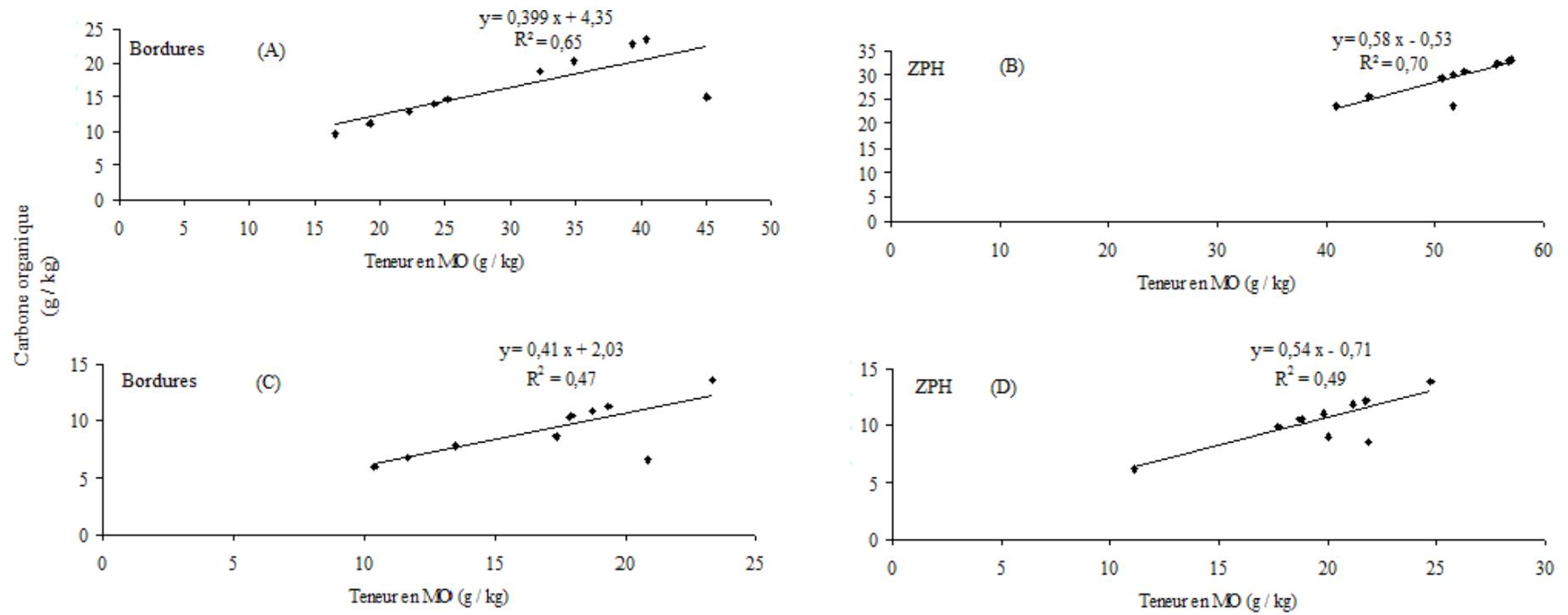


Fig. 47. Relation entre le carbone organique et la matière organique dans les bordures et les zones en permanence humides pour 0-30 cm (A et B) et 30-60 cm de profondeur (C et D) dans les marécages à *C. senegalense* et *R. corymbosa* (n = 12).

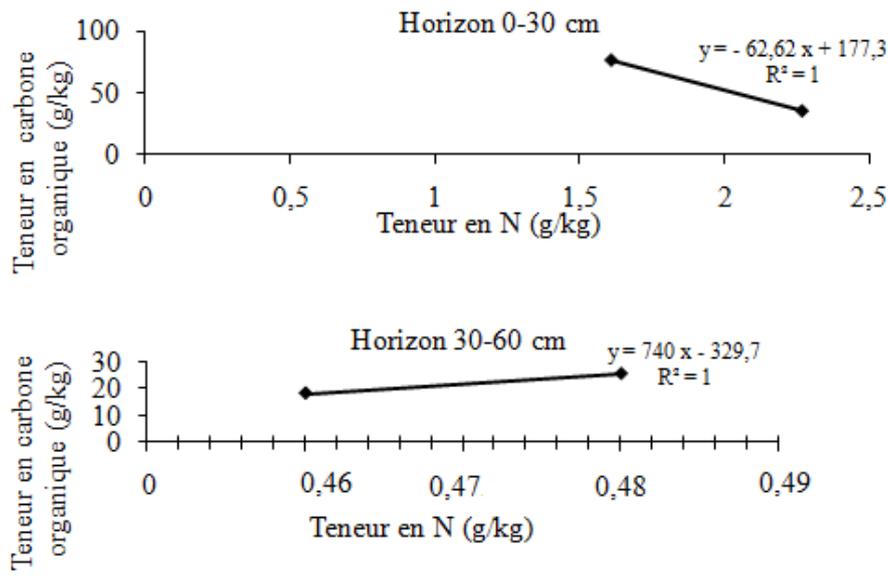


Fig.48. Corrélation entre le carbone organique et l'azote en surface et en profondeur dans les marécages à *C. papyrus*.

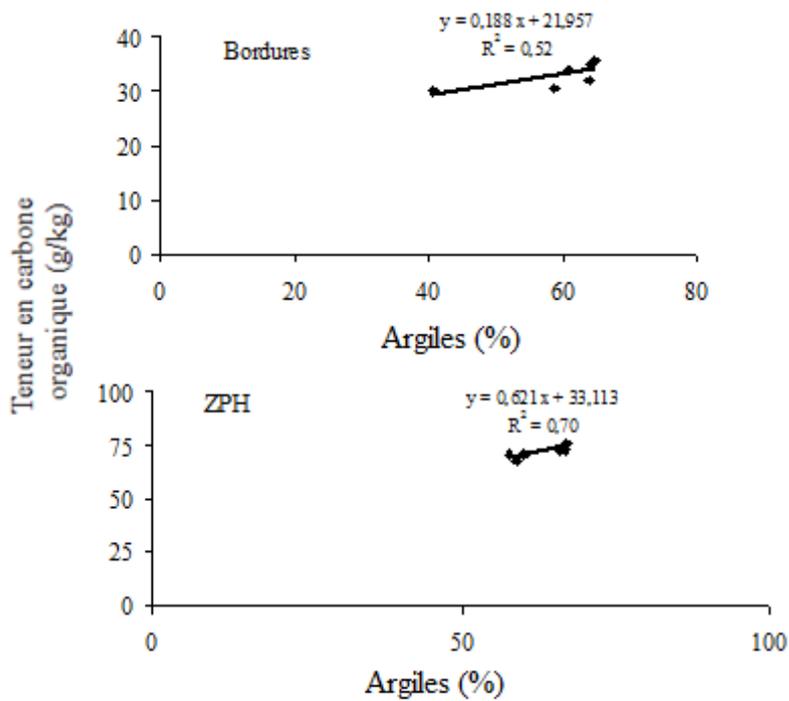


Fig. 49. Relation entre le carbone organique et la teneur en argile entre 0-30 cm de profondeur dans les marécages à *C. papyrus*. ZPH : zones en permanence humides.

III-1-5-3-2-4- Type de végétation et composition floristique

Les variations de carbone organique du sol observées entre la surface et la profondeur ne peuvent être expliquées uniquement par les facteurs édaphiques. En effet, les entrées de carbone organique dans le sol des zones marécageuses dépendent surtout des apports de litières et subséquemment du type de végétation qui se développe *in situ*.

Nos observations montrent que les stocks de carbone contenus dans la litière ne sont pas similaires d'un type de marécage à l'autre. La qualité et la quantité de litière, elles-mêmes liées au type de végétation, semblent être à l'origine de cette variation.

Les résultats montrent que les stocks de carbone contenus dans la litière sont plus élevés dans les marécages à *C. papyrus* ($998,54 \pm 17,14 \text{ g.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$) que dans les marécages à *C. senegalense* et *R. corymbosa* ($134 \pm 16,17 \text{ g.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$) et dans les marécages à *Echinochloa pyramidalis* ($59,42 \pm 8,06 \text{ g.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$). Les communautés marécageuses à *C. papyrus* sont plus denses, avec des individus de grande taille et à métabolisme C₄.

Dans l'ensemble, les chutes de litière sont importantes aux mois de décembre, janvier et février qui correspondent à la grande saison sèche (Fig.50.). Cette saison correspondrait à celle au cours de laquelle la défeuillaison et la chute des inflorescences sont importantes. Elle est donc la saison pendant laquelle la litière est très dense dans les différents sites. Dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* de Yaoundé, on observe ainsi deux pics d'inégale importance : l'un recouvrant la grande saison sèche et plus étalé dans le temps (décembre à avril) et l'autre pendant la petite saison sèche (juillet à août).

En fonction des microhabitats, il est à signaler que les quantités de litière sont plus élevées ($78,68 \pm 10,05$ à $1319,68 \pm 27,63 \text{ g.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$) dans les zones en permanence humides et faibles ($57,95 \pm 8,5$ à $975,82 \pm 11,81 \text{ g.m}^{-2}.\text{mois}^{-1}$) dans les bordures (Tableau XXXI), en raison des variations des densités des individus observés à leur niveau.

Tableau XXXI. Teneur moyenne en MOC des litières et stocks de carbone ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mois}^{-1}$) dans les différents types de marécage de Yaoundé. Au sein des colonnes, les valeurs portant la même lettre ne sont pas significativement différentes par comparaison au seuil de 0,05.

Type de marécage	Quantité de litière ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mois}^{-1}$)	Stock de carbone
Marécages à <i>C. papyrus</i>		998,54
Bordures	$975,82 \pm 11,81$	$424,48 \pm 5,13$
Zones en permanence humides	$1319,68 \pm 27,63$	$574,06 \pm 12,01$
Marécages à <i>Echinochloa pyramidalis</i>		59,42
Bordures	$57,95 \pm 8,5$	$25,20 \pm 3,69$
Zones en permanence humides	$78,68 \pm 10,05$	$34,22 \pm 4,37$
Marécages à <i>C. senegalense</i> et <i>R. corymbosa</i>		134
Bordures	$130,56 \pm 17,11$	$56,79 \pm 7,44$
Zones en permanence humides	$177,51 \pm 20,08$	$77,21 \pm 8,73$

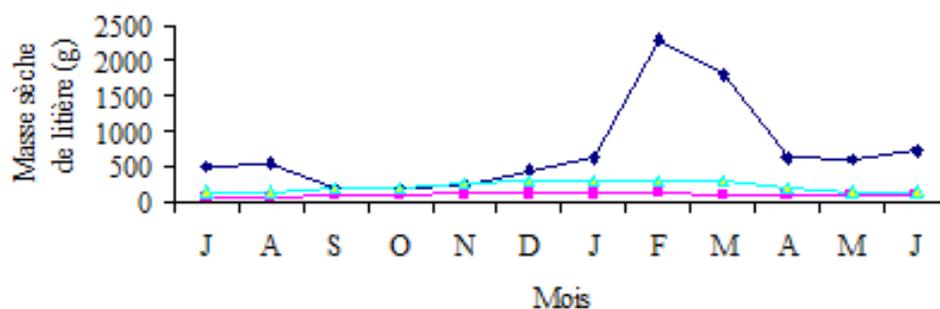
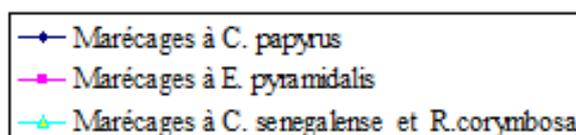


Fig.50. Evolution moyenne mensuelle de la quantité de litière dans les marécages de Yaoundé pendant la période d'observations (juillet 2007-juillet 2010).



III-1-5-3-2-5- Influence de la profondeur de la vase

La profondeur de la vase est un déterminant écologique important qui influence le stock de carbone dans les marécages à *C. papyrus*. Elle varie selon le type de marécage ainsi qu'avec la position et la structure du microhabitat. Ainsi, les valeurs de stocks de carbone les plus élevées sont observées dans les zones en permanence humides et les moins élevées en bordures des marécages où les densités sont faibles.

Dans l'ensemble des communautés marécageuses, le stock de carbone augmente avec la profondeur de la vase. En effet, les stocks les plus importants sont relevés au niveau des profondeurs les plus élevées observées dans les zones en permanence humides, entre $1,36 \pm 0,05$ à $1,98 \pm 0,08$ m en moyenne (Fig. 51.B); contrairement aux bordures où ces valeurs des stocks sont relevées entre $1,06 \pm 0,03$ à $1,67 \pm 0,02$ m en moyenne (Fig. 51.A) de profondeur.

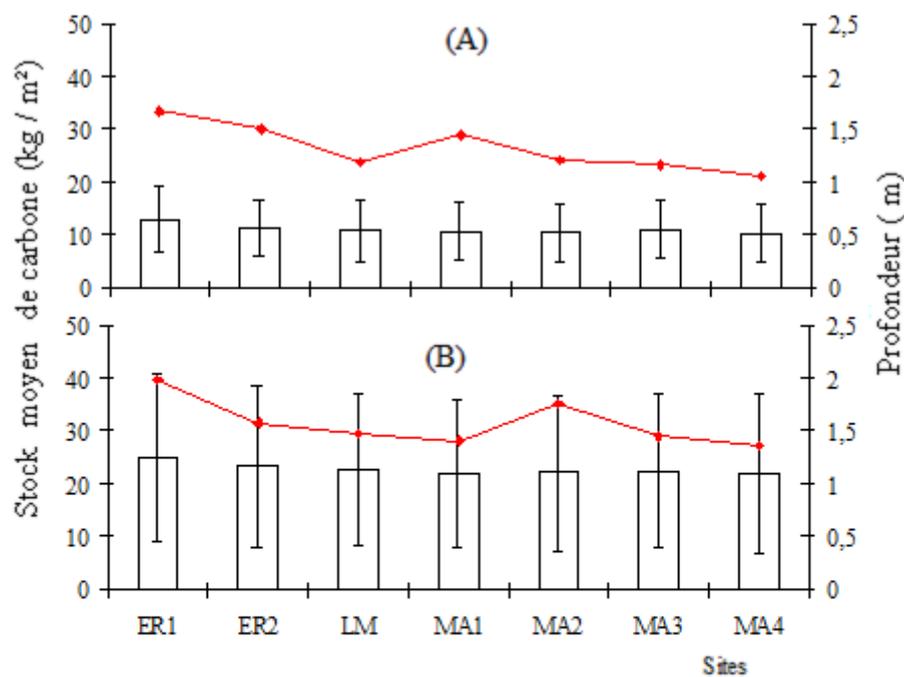


Fig. 51. Influence de la profondeur de la vase sur les stocks de carbone dans les bordures (A) et zones en permanence humides (B) des marécages à *C. papyrus* de Yaoundé. ER : Etang de la Retenue ; LM : Lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala.



III-1-5-3-2-6- Influence de la pollution

L'étude quantitative du stock de carbone dans les divers compartiments (aérien, souterrain et sol) en rapport avec la pollution au niveau des différents marécages a été abordée dans ce travail. Elle vise à évaluer, à travers l'analyse de la répartition spatiale du carbone dans les compartiments séquestrants (aérien, souterrain et sol), la capacité des marécages à *C. papyrus* à préserver la matière organique. En effet, l'analyse détaillée du stock de carbone et de sa répartition spatiale au niveau des compartiments aérien (Fig.52.A), souterrain (Fig.52.B) et le sol (Fig.53.) permet de distinguer trois différentes zones qui correspondent en fait à des niveaux d'intensité de la pollution dans les marécages.

De ce point de vue, le niveau le plus élevé de la pollution correspond à l'amont qui se distingue par les stocks de carbone les plus importants. Ils varient en effet entre $0,11 \pm 0,1$ (Mvan-Ahala 3) et $7,10 \pm 1,54$ t C / ha (Etang de la Retenue 1) pour la biomasse aérienne ; $0,12 \pm 0,02$ (Lac Municipal) et $9,04 \pm 1,01$ t C / ha (Etang de la Retenue 1) pour la biomasse souterraine et $137,2 \pm 10,62$ (Mvan-Ahala 4) et $280,20 \pm 31,01$ t C / ha (Etang de la Retenue 1) pour le sol.

Dans la zone médiane, les compartiments séquestrants sont également riches en carbone, avec des valeurs comprises entre $0,05 \pm 0,01$ (Mvan-Ahala 3) et $4,98 \pm 1,04$ t C / ha (Etang de la Retenue 1) pour la biomasse aérienne ; $0,07 \pm 0,01$ (Lac Municipal) à $7,02 \pm 1,46$ t C / ha (Etang de la Retenue 1) pour la biomasse souterraine ; $96,6 \pm 10,62$ (Mvan-Ahala 4) à $219,2 \pm 11,46$ t C / ha pour le sol.

En aval, les stocks de carbone sont relativement plus faibles avec des valeurs comprises entre $0,02 \pm 0,01$ (Mvan-Ahala 3) et $2,87 \pm 0,54$ t C / ha (Etang de la Retenue 1) pour la biomasse aérienne ; $0,02 \pm 0,01$ (Mvan-Ahala 3) et $2,07 \pm 0,72$ t C / ha (Etang de la Retenue 1) pour la biomasse souterraine ; $48,00 \pm 9,03$ (Mvan-Ahala 2) et $158,1 \pm 10,55$ t C / ha pour le sol. Ces résultats ne sont pas comparables aux précédents du fait de l'éloignement de l'aval du point d'entrée des effluents.

Dans l'ensemble, les valeurs obtenues varient graduellement en fonction de la charge polluante. C'est ainsi qu'on observe une décroissance des valeurs de l'amont vers l'aval, quel que soit le marécage considéré. De telles valeurs s'expliquent aussi par un apport d'une charge organique importante qui provoque le développement d'une biomasse dont la densité évolue d'une zone à l'autre. Par ailleurs au niveau du sol, les conditions relativement

réductrices, favorisées par la permanence des eaux, faciliteraient l'accumulation et l'enfouissement de la matière organique. C'est ce qui explique en partie les stocks de carbone élevés au niveau du sol.

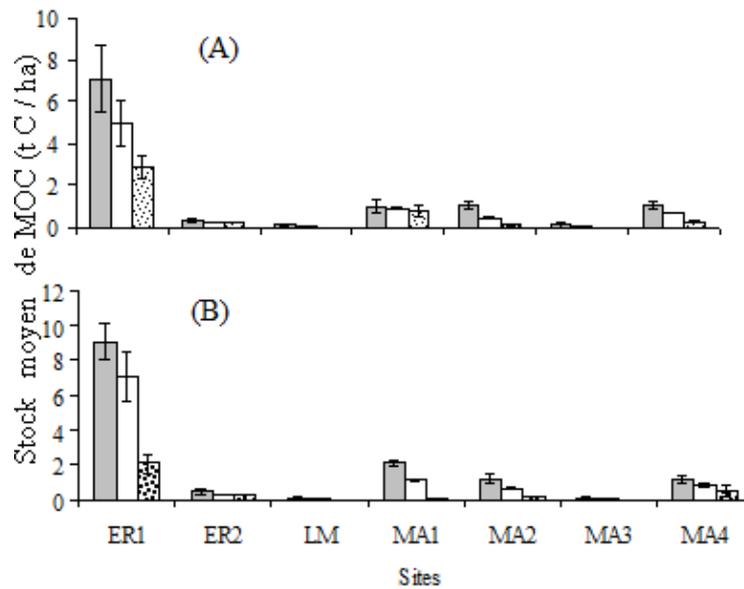


Fig.52. Répartition spatiale du stock moyen de MOC aérienne (A) et souterraine (B) en fonction de la source de pollution dans les marécages de Yaoundé. ER : Etang de la Retenue ; LM : Lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala ; Am : amont ; Zm : zone médiane ; Av : aval.

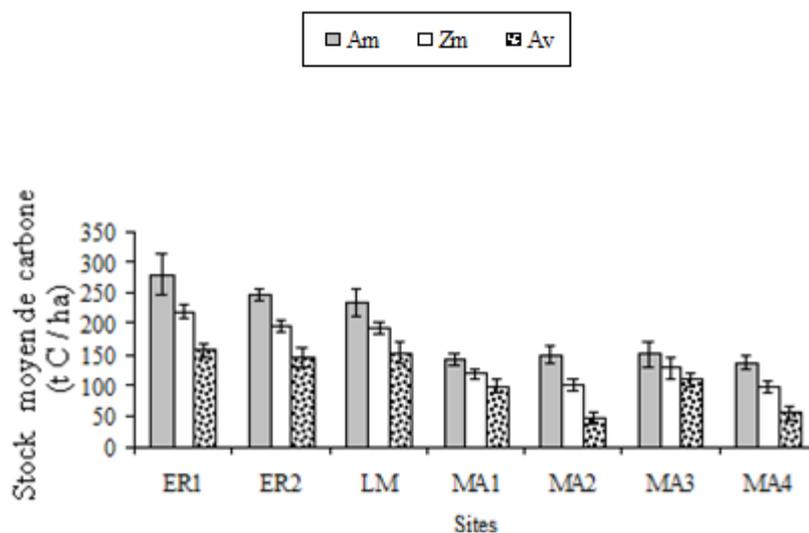
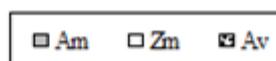


Fig.53. Répartition du stock moyen de carbone du sol tout horizon confondu en différents points des marécages selon leur distance par rapport à l'entrée des effluents dans les sites. Am : amont ; Zm : zone médiane ; Av : aval. ER : Etang de la Retenue ; LM : Lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala.



III-1-5-4- STOCKS DE CARBONE DU SOL

III-1-5-4-1- Densité apparente et caractéristiques granulométriques des sols

La densité apparente sèche joue un rôle déterminant dans la quantification du stock de carbone du sol. Dans le présent travail, la densité apparente montre des valeurs élevées, variant avec la profondeur de $1,63 \pm 0,14 \text{ g.cm}^{-3}$ à $1,88 \pm 0,21 \text{ g.cm}^{-3}$, avec une augmentation générale en surface. Il ressort aussi que la densité apparente est plus élevée ($p < 0.05$) dans les zones en permanence humides qu'au niveau des bordures pour les marécages à *C. papyrus* au niveau de l'horizon 0-30 cm. Cette situation s'inverse dans les communautés marécageuses à *C. senegalense* et *R. corymbosa* ainsi que dans les marécages à *E. pyramidalis*. Toutefois, la densité apparente présente des différences significatives entre les zones en permanence humides et les bordures d'un type de communauté marécageuse à l'autre (Fig.54.A et Fig. 54.B).

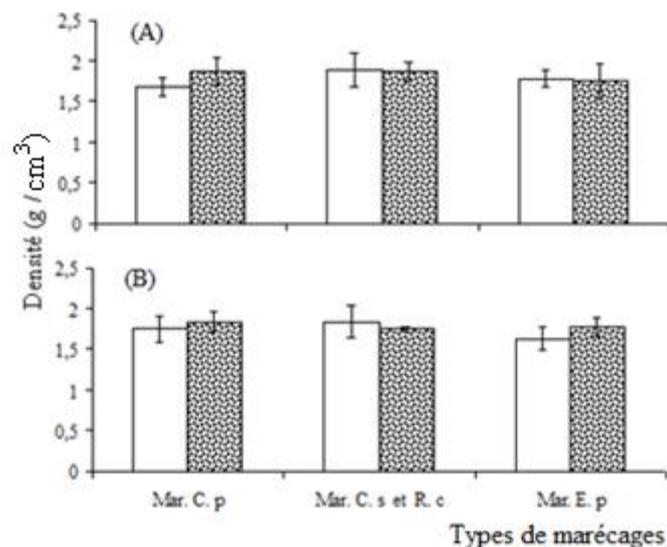
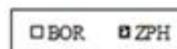


Fig.54. Valeurs de densité apparente du sol pour 0-30 cm (A) et 30-60 cm (B) dans les différents types de marécages. Mar. : marécages ; C. p: *C. papyrus* ; C. s : *C. senegalense* ; E. p : *E. pyramidalis* ; R. c : *R. corymbosa*. (n=12)



III-1-5-4-2- Stocks de carbone en relation avec la communauté floristique

L'influence du type de communauté marécageuse sur le potentiel de stockage du carbone dans le sol des marécages varie selon la communauté floristique considérée. Par rapport aux autres types de marécages, les communautés marécageuses à *C. papyrus* présentent le stock total de carbone au sol ($66,25 \text{ kg/m}^2$) le plus élevé dont $21,10 \pm 3,54 \text{ kg/m}^2$

en bordures et $45,15 \pm 11,69$ kg/m² dans les zones en permanence humides pour 60 cm de profondeur (Tableau XXXIII). En effet, pour 0-30 cm de profondeur les stocks moyens de carbone varient entre $13,55 \pm 2,43$ kg/m² en bordures et $34,08 \pm 9,63$ kg/m² dans les zones en permanence humides (Fig. 55.A.). Pour 30-60 cm de profondeur, les stocks moyens de carbone évoluent entre $7,55 \pm 1,11$ kg/m² en bordures et $11,07 \pm 2,06$ kg/m² dans les zones en permanence humides (Fig. 55.B.). Les différences entre les stocks moyens de carbone au sol des marécages à *C. papyrus* et les autres types de marécages s'expliquent surtout par la richesse en matière organique et dans une moindre mesure par la texture du sol précédemment signalée. En effet, les communautés marécageuses à *C. papyrus* sont relativement plus riches en argiles que les autres types de marécages (Tableau XXXII). Quantitativement, les proportions d'argiles varient de 54,21 à 57,11 % pour le niveau 0-30 cm et de 49,11 à 55,11 % pour le niveau 30-60 cm. Cette richesse en argile des marécages à *C. papyrus* comparativement aux autres types de marécages s'expliquerait par la situation topographique. En effet, les communautés marécageuses à *C. papyrus* (ER1, ER2 et LM) sont situées dans les zones dépressionnaires qui sont des zones de sédimentation de divers éléments. Les argiles qu'on y trouve proviendraient du transport par l'eau des argiles résiduelles ou sédimentaires à partir des reliefs élevés jusqu'aux bas-fonds. Les résultats de l'analyse granulométrique montrent aussi que les teneurs en fines particules sont élevés (environ 70 %) dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* quel que soit le niveau considéré.

Si l'on considère les stocks de carbone du sol dans les différents sites des communautés marécageuses à *C. papyrus*, il ressort que les stocks moyens de carbone du sol sur 0-30 cm de profondeur varient entre $31,26 \pm 2,42$ kg/m² (MA4) et $41,29 \pm 10,89$ kg/m² (ER1). Le stock de carbone de l'ER1 est significativement différent ($p < 0,001$) de celui des autres sites (Fig. 57.A). Sur 30-60 cm de profondeur dans les zones en permanence humides, les stocks de carbone varient entre $13,72 \pm 1,05$ (ER1) et $11,12 \pm 1,7$ kg/m² (MA4) (Fig. 56.B). Ces variations sont plus significatives entre ER1, MA2 et MA4. Cette différence peut s'expliquer par le fait qu'à MA2 et MA4 peu de rhizomes colonisent l'horizon 30-60 cm comparativement à ER1 ; ce qui limiterait la restitution du carbone au sol.

Globalement, en bordures les stocks de carbone ne sont pas significativement différents quel que soit le site et la profondeur du sol (Fig. 56.A).

Il est à souligner que les stocks de carbone obtenus dans les sols des différentes communautés marécageuses n'ont pas seulement une origine autochtone ; ils ont aussi à un degré plus variable une origine allochtone.

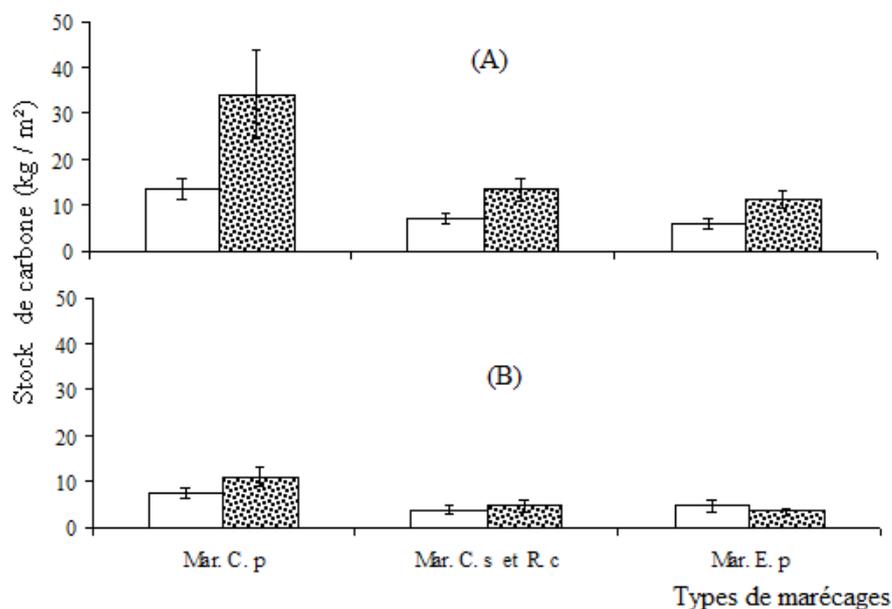


Fig.55. Répartition des stocks de carbone à 0-30 cm (A) et 30-60 cm (B) de profondeur du sol dans les différents types de marécage. Mar. : marécages ; C. p: *C. papyrus* ; C. s : *C. senegalense* ; E. p : *E. pyramidalis* ; R. c : *R. corymbosa*.

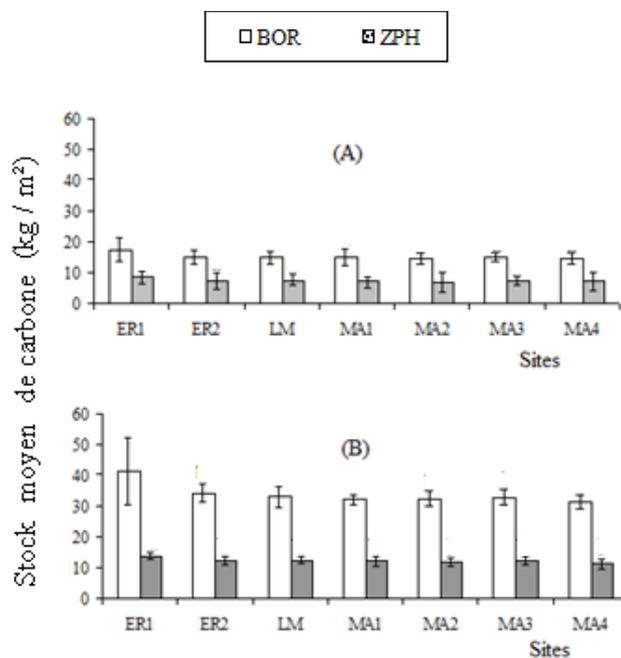


Fig.56. Répartition des stocks de carbone (kg/m²) dans le sol sur 0-30 et 30-60 cm de profondeur en fonction des sites dans les BOR (A) et les ZPH (B). ER : étang de la retenue ; LM : lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala.

□ 0-30 cm ■ 30-60 cm

Tableau XXXII. Teneurs en éléments granulométriques (%) des différents types de marécages à 0-30 et 30-60 cm de profondeur (n = 12). BOR : bordures ; ZPH : zone en permanence humide.

	Argile	Limon fin	Limon grossier	Sable fin	Sable grossier
Marécages à <i>C. papyrus</i>					
0-30 cm					
BOR	54,21 ± 0,02	5,53 ± 0,07	3,32 ± 0,01	16,76 ± 0,15	20,19 ± 0,03
ZPH	57,11 ± 0,06	6,26 ± 1,2	4,46 ± 0,06	16,09 ± 1,08	16,12 ± 0,05
30-60 cm					
BOR	49,11 ± 0,01	4,51 ± 1,9	6,97 ± 0,01	18,25 ± 0,13	21,17 ± 1,6
ZPH	55,11 ± 0,05	5,32 ± 0,02	7,62 ± 1,1	18,21 ± 0,04	13,74 ± 0,05
Marécages à <i>C. senegalense</i> et <i>R. corymbosa</i>					
0-30 cm					
BOR	40,70 ± 1,46	5,5 ± 0,05	5,02 ± 0,01	23,7 ± 1,35	25,08 ± 0,76
ZPH	43,02 ± 1,04	6,02 ± 1,43	5,71 ± 0,18	21,01 ± 0,49	24,24 ± 0,87
30-60 cm					
BOR	47,56 ± 0,05	3,84 ± 0,02	6,63 ± 1,32	22,39 ± 1,43	19,58 ± 0,23
ZPH	49,13 ± 0,11	3,03 ± 1,70	6,47 ± 0,13	22,93 ± 0,18	18,44 ± 0,44
Marécages à <i>E. pyramidalis</i>					
0-30 cm					
BOR	40,60 ± 1,01	5,4 ± 1,05	5,06 ± 0,01	23,74 ± 1,26	25,20 ± 0,74
ZPH	43,00 ± 0,35	6,31 ± 1,04	5,83 ± 0,18	21,24 ± 0,83	23,62 ± 0,58
30-60 cm					
BOR	46,98 ± 0,31	3,86 ± 0,75	6,88 ± 0,30	22,34 ± 1,33	19,94 ± 0,13
ZPH	49,76 ± 3,39	3,03 ± 0,20	6,44 ± 0,98	22,68 ± 0,65	18,09 ± 0,51

Tableau XXXIII. Total des stocks de carbone (kg/m²) au sol dans les différents types de marécages en fonction de la profondeur. BOR : bordures ; ZPH : zones en permanence humides.

Types de marécages	Marécages à <i>C. papyrus</i>		Marécages à <i>C. senegalense</i> et <i>R. corymbosa</i>		Marécages à <i>E. pyramidalis</i>	
	BOR	ZPH	BOR	ZPH	BOR	ZPH
0-30 cm	13,55	34,08	7,33	13,42	5,92	11,27
30-60 cm	7,55	11,07	4,01	4,75	4,67	3,59
Total	21,10	45,15	13,34	18,17	10,59	14,86

III-1-5-5- VARIABILITE SPATIO - TEMPORELLE DU STOCK DE CARBONE

L'objectif de cette partie est de déterminer les fluctuations saisonnières et interannuelles du carbone dans les marécages à *C. papyrus* de Yaoundé. Les observations y relatives ont porté sur la biomasse et sur le sol, au cours de la période allant de juillet 2007 à juillet 2010. Les informations sur la dynamique du carbone dans ces communautés marécageuses pourraient permettre d'envisager une meilleure gestion de ces lieux et de prédire les éventuels dommages d'une surexploitation sur l'environnement.

III-1-5-5-1- Variations saisonnières du carbone dans la biomasse de *C. papyrus*

Des fluctuations saisonnières des stocks de carbone de la biomasse entre les différents sites de Yaoundé sont étudiées (Fig.58.). Les résultats montrent que les stocks de carbone les plus importants sont obtenus pendant la saison des pluies dans les communautés marécageuses à *C. papyrus*. L'explication est liée à la forte densité de *C. papyrus* à cette saison comparativement à la saison sèche. Il convient de signaler que les stocks de carbone restent pratiquement comparables pendant la grande saison sèche, la petite saison sèche et la petite saison de pluies dans les différents sites.

Dans les communautés marécageuses à *C. papyrus*, les variations saisonnières du stock de carbone dans la biomasse révèlent en effet une augmentation brutale de sa quantité pendant la grande saison des pluies (GSP), quel que soit le site considéré. Cette augmentation

est cependant plus importante dans l'Etang de la Retenue 1 avec un maximum de stock de carbone de $8,75 \pm 0,80 \text{ kg / m}^2$. Ce résultat trouve son explication dans le fait que la régénération végétative de *C. papyrus* est importante pendant la grande saison des pluies. Par contre, pendant la grande saison sèche, on observe une tendance à la baisse des stocks de carbone (Fig.57.). Il est aussi à souligner que l'Etang de la Retenue 1 et 2 ainsi que le Lac Municipal montrent en général les quantités de MOC les plus élevées comparativement aux marécages de Mvan-Ahala. Ce dernier résultat est à mettre en rapport avec la richesse des milieux en nutriments. En effet, l'Etang de la Retenue et le Lac Municipal sont situés en zone urbaine et donc dans des conditions plus polluées que les marécages de Mvan-Ahala.

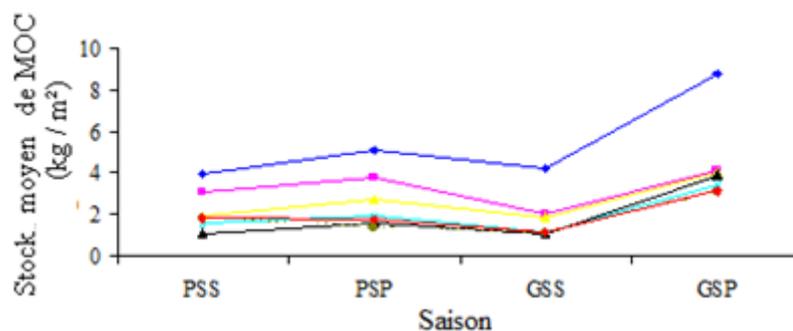
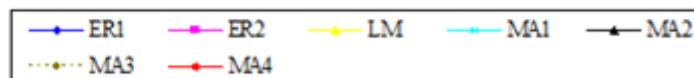


Fig.57. Variations saisonnières des stocks de MOC dans la biomasse de *C. papyrus* pendant la période d'étude (juillet 2007-juillet 2010). ER : Etang de la Retenue ; LM : Lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala.



III-1-5-5-2- Variations saisonnières du carbone organique dans le sol

Sur l'ensemble des profils des différents sites, l'étude des variations saisonnières des stocks de carbone organique a été effectuée sur 0-30 cm du sol qui représente le niveau de référence dans les études pédologiques. Dans les communautés marécageuses à *C. papyrus*, le carbone organique présente d'importantes variations saisonnières qui sont essentiellement contrôlées par le régime hydrologique au niveau des sites d'étude. Le facteur hydrologique joue en effet un rôle de premier plan dans le transfert sol-drain à travers le processus d'érosion.

Au cours de la petite et grande saison sèche, les bordures des marécages montrent une tendance à la hausse des stocks de carbone organique (Fig.58.A). A l'opposé, cette situation s'inverse au cours de la petite et la grande saison des pluies pendant laquelle s'observent de faibles valeurs de carbone organique avec : $5,10 \pm 0,76$ et $5,51 \pm 0,12 \text{ kg / m}^2$ respectivement.

Ces plus faibles valeurs s’observent surtout dans l’Etang de la Retenue 1 et 2, ainsi que dans le lac municipal. Ce résultat est lié à la topographie de ces sites. En effet, l’Etang de la Retenue et le Lac Municipal sont situés dans les zones de fortes pentes par rapport aux marécages plats de Mvan-Ahala. Par ailleurs à chaque événement pluvieux, correspond une crue dont la réponse serait le transfert du carbone des bordures vers les zones en permanence couvertes d’eau. On pourrait ainsi évoquer l’hypothèse d’un processus de recharge en matière organique par les zones en permanence humides pendant les saisons pluvieuses. La perte de carbone n’est pas significative dans les sites de Mvan-Ahala en général. Contrairement aux bordures, les zones en permanence humides se caractérisent par une relative augmentation des stocks de carbone organique pendant la petite et grande saison des pluies dans tous les sites (Fig.58.B). Dans l’ensemble, les résultats ci-dessous mettent en exergue une relative stabilisation et conservation de la matière organique dans les bordures et zones en permanence humides pendant la saison sèche. La conservation de cette matière organique est plus consistante dans les zones en permanence humides où les processus de biodégradation et de minéralisation seraient limités du fait de la saturation en eau.

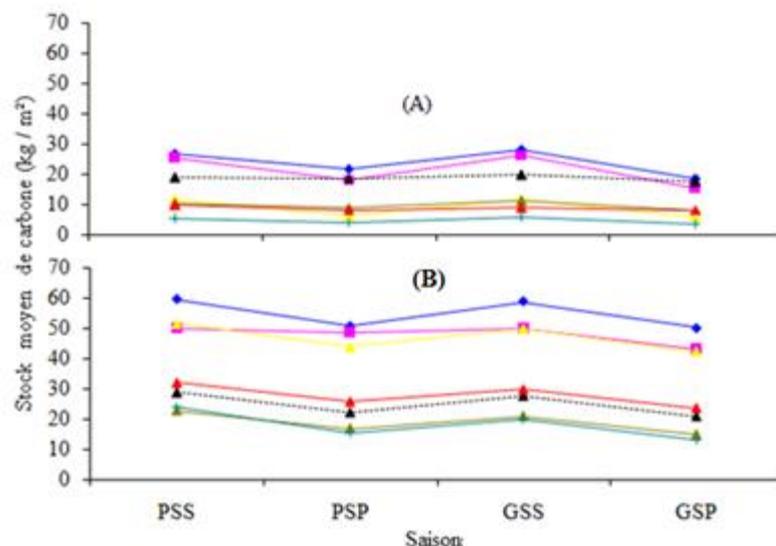


Fig.58. Variations saisonnières des stocks de carbone dans les bordures (A) et zones en permanence humides (B) entre 0-30 cm de profondeur des différents sites marécageux à *C. papyrus* pendant la période d’étude (juillet 2007-juillet 2010). ER : Etang de la Retenue ; LM : Lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala.



III-1-5-5-3- Evolution inter-annuelle du carbone dans les marécages à *C. papyrus*

Les stocks de carbone évoluent considérablement dans les marécages à *C. papyrus*, avec des valeurs totales comprises entre 1,56 t C / ha et 21,63 t C / ha au cours de la période

2007 / 2010 (Fig.59.). Les stocks de carbone les plus élevés sont observés dans l'Etang de la Retenue 1 où on a obtenu 15,74 ; 18,67 et 21,63 t C / ha respectivement en 2007 / 2008, 2008 / 2009 et 2009 / 2010. Les stocks de carbone suivent des variations annuelles similaires dans le reste des sites, notamment dans l'Etang de la Retenue 2, le Lac Municipal, Mvan-Ahala 1, Mvan-Ahala 2, Mvan-Ahala 3 et Mvan-Ahala 4, avec des valeurs relativement proches. On note en général, pour l'ensemble des sites, une hausse graduelle des stocks de carbone dans la biomasse (aérienne et souterraine) et le sol pendant la même période. Ils sont en moyenne plus élevés dans la biomasse aérienne et souterraine en 2009 / 2010 par rapport aux années précédentes (Tableau XXXIV). Ce résultat s'expliquerait par un accroissement de la densité d'une année à l'autre.

Tableau XXXIV. Valeurs extrêmes et moyennes de la MOC (t C / ha) dans la biomasse aérienne et souterraine de *C. papyrus* à Yaoundé au cours de la période d'observations (juillet 2007/juillet 2010). ER : Etang de la Retenue ; LM : Lac Municipal ; MA : Mvan-Ahala ; C.aér. : carbone aérien ; C.sou.: carbonesouterrain.

Années		ER1		ER2		LM		MA1		MA2		MA3		MA4		Total
		C.aér.	C.sou.													
07/08	Min.	4,92	5,08	0,32	0,37	0,03	0,09	1,01	1,06	0,53	0,34	0,02	0,04	0,56	1,02	15,39
	Moy.	5,96	7,07	0,41	0,5	0,04	0,1	1,02	1,08	0,71	0,9	0,03	0,1	1,01	1,04	19,97
	Max.	7	9,06	0,5	0,63	0,05	0,11	1,03	1,1	0,89	1,46	0,04	0,16	1,46	1,06	24,55
08/09	Min.	6,65	6,77	0,32	0,41	0,07	0,1	1,07	1,08	0,76	0,51	0,05	0,07	1,01	1,11	19,98
	Moy.	6,98	8,48	0,43	0,51	0,09	0,11	1,22	1,27	0,78	0,95	0,08	0,1	1,04	1,26	23,3
	Max.	7,31	10,19	0,54	0,63	0,11	0,12	1,37	1,46	0,8	1,39	0,11	0,13	1,07	1,41	26,64
09/10	Min.	6,28	8,74	0,39	0,41	0,12	0,11	1,11	2,03	0,78	0,98	0,12	0,08	0,67	1,21	23,03
	Moy.	8,01	9,88	0,47	0,58	0,14	0,12	1,42	2,1	0,87	1,01	0,14	0,11	1,1	1,51	27,46
	Max.	9,74	11,02	0,55	0,75	0,16	0,13	1,73	2,17	0,96	1,04	0,16	0,14	1,53	1,81	31,89

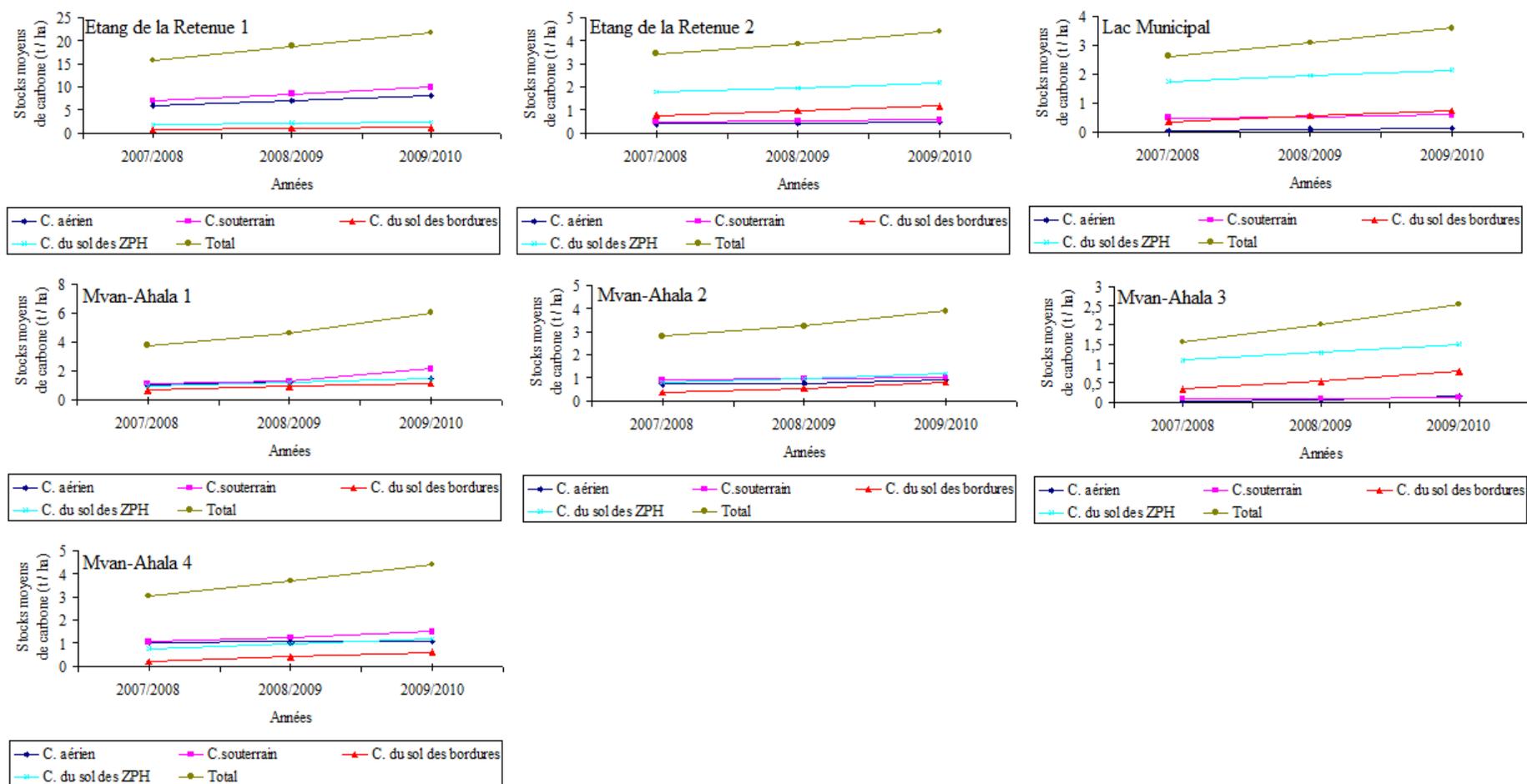


Fig.59. Evolution des stocks moyens de carbone dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* au cours de la période d'étude (juillet 2007-juillet 2010). ZPH : zones en permanence humides.

III-1-5-6- CORRELATION ENTRE LES DIFFERENTES VARIABLES ET CARACTERISATION DES SITES

A l'examen des cartes d'ACP, des corrélations positives apparaissent au niveau des communautés marécageuses à *C. papyrus* entre les variables écologiques (environnementales et biotiques) et le stock de carbone dans les compartiments aérien, souterrain et dans le sol (Fig.60.). Le pourcentage d'inertie est de 52,80 % pour l'axe 1 et de 16,49 % pour l'axe 2. Ces axes contiennent 69,30 % de l'information, ce qui signifie que les variables environnementales et biotiques influencent fortement le stock de carbone dans les compartiments séquestrants. La contribution des différentes variables étudiées à ces principaux axes fluctue de façon remarquable (Tableau XXXV).

Dans cette étude, l'analyse en composantes principales a permis de visualiser trois groupes de variables qui influencent la dynamique du carbone dans les différents compartiments identifiés :

- le groupe I est constitué de variables qui influencent le stock de carbone dans le sol : l'hydromorphie, la profondeur de la vase, le pH, le stock de litière et la teneur du sol en matière organique et en argile ;

- le groupe II est composé de variables qui déterminent le stock de carbone souterrain : le diamètre du rhizome et la pollution.

- enfin le groupe III est constitué par les variables qui influencent le stock de carbone aérien : le diamètre, la densité des individus et le nombre de feuilles par ombelle.

Par ailleurs, l'analyse des variables environnementales et biotiques a aussi permis d'individualiser deux groupes de microhabitats (Fig. 61.) :

- les microhabitats des bordures ;

- les microhabitats des zones en permanence humides.

Le faible effet significatif de ces variables au niveau des microhabitats des bordures peut s'expliquer par plusieurs raisons. D'abord, cela peut être dû au fait que ces variables n'influencent effectivement que très peu le stock de carbone dans ces microhabitats et dans ce cas il existerait d'autres variables qui pourraient influencer fortement le stock de carbone dans les différents compartiments. Ensuite, la prise en compte d'autres variables

environnementales, notamment pédologiques telle que la composition granulométrique de la vase, aurait peut-être pu mieux expliquer l'importance du stock de carbone.

Tableau XXXV. Contribution (%) des variables dans l'ACP dans les marécages à *C. papyrus*.

H : hydromorphie ; P : pollution ; MO : matière organique ; PV : profondeur de la vase ; TA : teneur en argile ; SL : stocks de litière ; DR : diamètre du rhizome ; DT : diamètre des tiges ; Dé : Densité des individus ; NF : nombre de feuilles par ombelle.

Variables	F1	F2
H	0,019	23,506
P	3,769	0,520
Dé	2,078	1,251
DR	5,873	0,072
PV	3,302	11,772
SL	0,075	6,557
NF	1,222	1,444
pH	8,318	1,639
TA	5,424	8,292
M.O.	4,436	5,983
DT	3,844	0,564

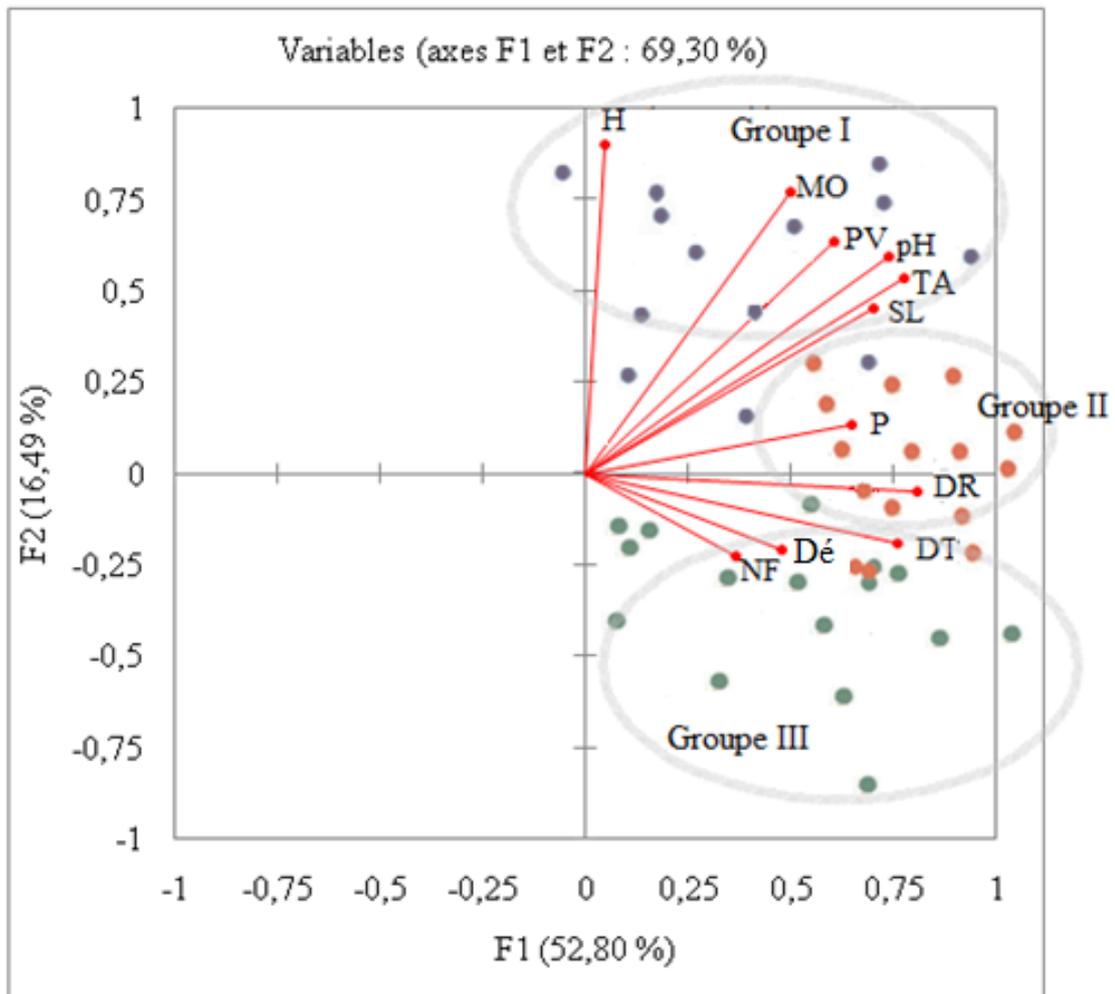
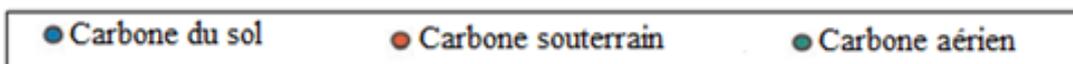


Fig. 60. Analyse en composantes principales des stocks de carbone dans les différents compartiments séquestrants et les variables environnementales et biotiques les influençant. H : hydromorphie ; P : pollution ; MO : matière organique ; PV : profondeur de la vase ; TA : teneur en argile ; SL : stocks de litière ; DR : diamètre du rhizome ; DT : diamètre des tiges ; De : densité des individus ; NF : nombre de feuilles par ombelle.



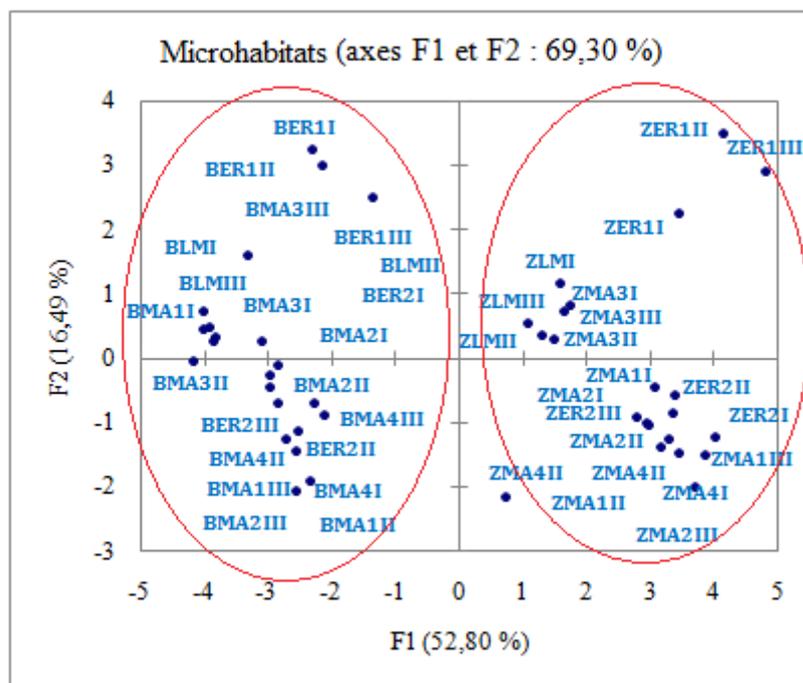


Fig.61. Analyse en composantes principales des microhabitats des marécages à *C. papyrus* au cours de la période d'étude (juillet 2007/ juillet 2010). I : juillet 2007/ juillet 2008 ; II : juillet 2008/ juillet 2009 ; III : juillet 2009/ juillet 2010 ; B : bordures ; Z : zones en permanence humides ; ER1 : Etang de la Retenue 1 ; ER2 : Etang de Retenue 2 ; LM : Lac Municipal ; MA1 : Mvan-ahala 1 ; MA2 : Mvan-ahala 2 ; MA3 : Mvan-ahala 3 ; MA4 : Mvan-ahala.

III-1-5-7- STOCK TOTAL DU CARBONE DANS LES DIFFERENTS TYPES DE MARECAGES DE YAOUNDE

Cette partie du mémoire est une étude comparative entre les différents stocks de carbone obtenus dans les différents types de marécages et ceux observés dans les compartiments séquestrant le carbone.

En considérant tous les compartiments (aérien, litière, souterrain et sol), pour chaque marécage et le type de végétation, il ressort que les marécages à *C. papyrus* présentent les stocks de carbone les plus élevés (Fig.62.) : 0,19 % pour la litière ; 4,06 % pour le compartiment aérien ; 5,57 % pour le compartiment souterrain et 90,18 % pour le sol. Par contre, pour les autres types de marécages, c'est uniquement le sol qui constitue le principal compartiment stockant le carbone avec plus de 98 %.

Dans les différents types de placettes, il ressort que les stocks de carbone dans la biomasse et le sol sont nettement plus élevés dans les placettes entièrement recouvertes

(Tableau XXXVI). On y observe par rapport aux placettes faiblement recouvertes un accroissement net de l'ordre de $21,71 \pm 0,01$ t MOC / ha pour la biomasse et $25,11 \pm 0,07$ kg C/ m² pour le sol. Il est à signaler qu'au niveau du sol, cette supériorité s'explique par un apport important de matière organique.

Globalement, pour les communautés marécageuses à *C. papyrus* de Yaoundé, l'essentiel du carbone est contenu dans le sol (Fig.63.) et est sous l'influence de divers facteurs écologiques discriminants (Tableau XXXVII). Il varie de 89,42 à 99,78 % dans les bordures et de 93,12 à 99,57 % dans les zones en permanence humides. En effet, la principale différence entre les microhabitats d'un même site est la variabilité des stocks de carbone dans la biomasse, la litière et dans le sol. Cette variabilité se répercute sur le stock total de carbone entre les différents microhabitats des marécages à *C. papyrus* sous étude.

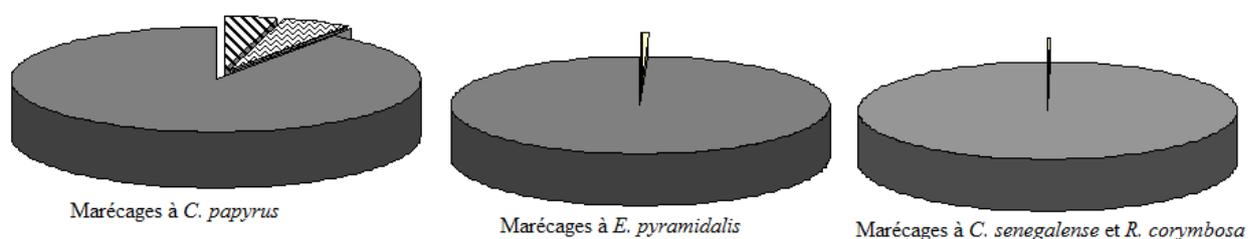


Fig. 62. Allocation du carbone (en %) dans les différents compartiments de chaque type de marécages dans la ville de Yaoundé et ses environs.

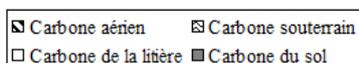


Tableau XXXVI. Synthèse des valeurs moyennes des stocks de carbone dans la biomasse et le sol des différents types de placettes à *C. papyrus*. PFR : Placettes faiblement recouvertes ; PMR : Placettes moyennement recouvertes ; PER : Placettes entièrement recouvertes.

Placette	PFR	PMR	PER	Total
Stock de carbone (t/ ha)				
Biomasse	$12,80 \pm 0,01$	$23,42 \pm 0,01$	$34,51 \pm 0,02$	$70,73 \pm 0,04$
Sol	$100,40 \pm 0,6$	$210,8 \pm 0,30$	$351,3 \pm 0,80$	$662,5 \pm 1,70$
Total	$113,20 \pm 0,61$	$234,22 \pm 0,31$	$354,81 \pm 0,82$	$733,23 \pm 1,74$

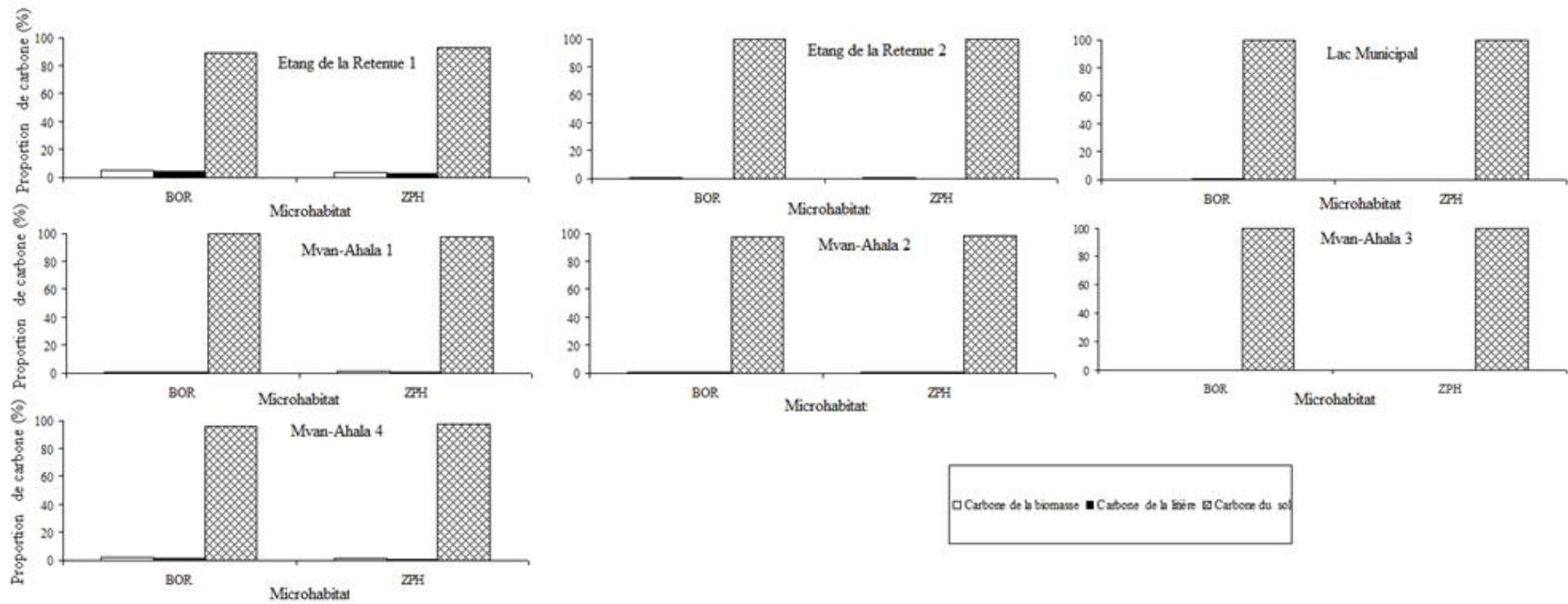


Fig. 63. Stocks de carbone dans l'ensemble des sites des marécages à *C. papyrus*. BOR : bordures ; ZPH : zones en permanence humides.

Tableau XXXVII. Facteurs écologiques discriminants en relation avec la réaction de *C. papyrus* et du sol.

Réaction de la plante et du sol		Production des rejets	Floraison	Nombre de feuilles par ombelle	Développement du rhizome	Stock de litière	Stock de carbone aérien	Stock de carbone souterrain	Stock de carbone du sol
Facteur écologique discriminant									
Teneur en eau	BOR	Faible	Forte	-	Faible	Fort	Faible	Faible	Faible
	ZPH	Forte	Faible	élevé	élevé	Faible	Fort	Fort	Fort
Profondeur de la vase	BOR	Faible	-	-	Faible	-	-	Faible	Faible
	ZPH	Forte	-	-	Fort	-	-	Fort	Fort
Insolation	BOR	-	Forte	-	-	-	-	-	-
	ZPH		Faible	-	-	-	-	-	-
Précipitations	BOR	Faible	Faible	-	-	-	-	-	-
	ZPH	Forte	Faible	-	-	-	-	-	-
Eléments minéraux	BOR	-	Forte	-	-	-	-	-	-
	ZPH	-	Faible	-	-	-	-	-	-
Pollution	BOR	Faible	-	-	-	-	Faible	faible	-
	ZPH	Forte	-	-	élevé	-	Fort	Fort	élevé
Prélèvement des tiges	BOR	Forte	-	-	-	-	-	-	-
	ZPH	Forte	-	-	-	-	-	-	-

III-2- DISCUSSION

III-2-1- CARACTERISTIQUES FLORISTIQUES DES MARECAGES

La richesse spécifique des communautés marécageuses à *C. papyrus* est relativement élevée. Cette forte richesse spécifique peut s'expliquer par les conditions écologiques qui seraient favorables au développement des espèces végétales. Ces conditions écologiques concernent la lumière, la litière, la biodisponibilité en eau et en éléments minéraux du sol, etc.

De manière globale, les résultats montrent que la richesse spécifique dépend du stade de recouvrement des placettes par *C. papyrus*. C'est ainsi que la richesse spécifique est très faible dans les placettes entièrement recouvertes et élevée dans celles moyennement et faiblement recouvertes. La faible richesse spécifique observée dans les placettes entièrement recouvertes peut être imputable à la densité du couvert de *C. papyrus* qui n'est pas favorable à l'installation d'autres espèces. Ce caractère grégaire constituerait en effet un frein à la diversité spécifique de ces milieux.

En considérant la flore totale, les *Cyperaceae* et les *Commelinaceae* sont les familles les plus représentées. Les *Cyperaceae* sont surtout dominées par le genre *Cyperus*. Les espèces appartenant à ce genre se développent en touffes compactes. Letouzey (1972) signale que le genre *Cyperus* est le plus abondant de la famille des *Cyperaceae* et comporte plus de 2000 espèces. En général de nombreux auteurs signalent écologiquement l'inféodation des *Cyperaceae* et des *Commelinaceae* aux biotopes humides (Lorougnon, 1969 ; 1972 ; Okezi et Agyakwa, 1989 ; Priso, 1994 ; Assonfack, 2004 ; Kono, 2007).

Prise toute seule, la richesse spécifique est un paramètre qui ne permet pas toujours de bien montrer la diversité d'un milieu, car il dépend de l'effort d'échantillonnage et de la bonne connaissance des espèces sur le terrain, c'est pour cela qu'il est important de recourir aux indices de biodiversité. Dans le cadre du présent travail, les indices biocénotiques montrent que ce sont les placettes faiblement recouvertes qui présentent la plus grande diversité spécifique, suivies des placettes moyennement recouvertes et enfin les placettes entièrement recouvertes. Cette forte diversité est liée aux caractéristiques du milieu (humidité, lumière, abondance des nutriments, etc.) et à la faible densité de *C. papyrus* dans les placettes faiblement recouvertes; ce qui favorise l'installation de nombreuses espèces rudérales telles que : *Ageratum conyzoides*, *Alchornea cordifolia*, *C. distans*, *Echinochloa pyramidalis*, *Emilia coccinea*, *Euphorbia heterophylla*, *Pycnus lanceolatus*, *Rhynchospora corymbosa*,

Scleria verrucosa, *Zehneria scabra*, etc. La faible diversité des placettes entièrement recouvertes quant à elle est liée à la prédominance de *C. papyrus*. Leur composition floristique est généralement réduite, ce qui a déjà été constaté pour la plupart des marais à *Cyperus* du Ruanda-Burundi (Ben Ven Der, 1961 cit. Masharabu et al., 2010). Dans l'ensemble, l'indice d'équitabilité de Pielou est inférieur à 0,80, ce qui indique l'instabilité de ces biotopes (Dajoz, 2000). Néanmoins, l'indice d'équitabilité pour les placettes faiblement recouvertes est des plus élevés, ce qui suggère l'équilibre entre les espèces.

La coexistence des espèces est basée sur le partage et l'utilisation des ressources communes, les espèces s'adaptant aux différentes formes de compétition, de stress ou de perturbation (Grime, 1974 cit. Masharabu et al., 2010). C'est ainsi que les types biologiques de nos ditions sont constitués en grande partie par les géophytes qui sont dotés de dispositifs (rhizomes, bulbes et tubercules) leur permettant de résister à l'hydromorphie. Bizuru (2005) a fait le même constat dans les marais et leurs lisières au Burundi. Dans une moindre mesure, les sites visités sont aussi dominés par les chaméphytes et thérophytes qui colonisent surtout les bordures des marécages.

De nombreux auteurs expliquent les aires de distribution actuelles des espèces en faisant appel aux facteurs paléogéographiques, paléoclimatologiques ou encore chorologiques. Mais, comme le souligne Schnell (1976), les aires de distribution sont aussi liées aux facteurs écophysologiques. Dans un territoire phytogéographique donné, la plupart des aires sont définies par des limites thermiques ou hydriques, correspondant à la possibilité de réalisation de certaines réactions biochimiques, indispensables à la survie de l'espèce, et inscrite dans son patrimoine génétique. Dans le cadre de la présente étude, les espèces à large distribution avec 59,57 %, apparaissent mieux représentées. Il s'agit en grande partie des espèces pantropicales, afrotropicales, afromalgaches, paléotropicales et afronéotropicales. L'importance de ces espèces traduit la perte d'identité de la végétation. La proportion élevée des taxa largement distribués traduit l'ouverture de cette flore aux influences extérieures. Les espèces à large distribution sont le plus souvent des rudérales ou des espèces des milieux perturbés (Schnell, 1987 ; Bangirinama et al., 2010). Leur forte proportion peut aussi être un indice de dégradation : la flore perd sa spécificité (Masharabu et al., 2010). Les marécages à *C. papyrus*, dans l'ensemble, ne sont donc pas à l'abri de ces influences.

Du point de vue chorologique, le type autochore est le plus répandu, avec 61,70 % d'espèces végétales. Ces espèces autochores sont majoritairement sclérochores. Les diaspores

scérochores de par leur petite taille et faible poids, peuvent être disséminées par le vent (anémochorie). Mais ce transport ne peut se faire que sur des petites distances et dépend en partie de l'absence de barrière (Schnell, 1970). Une bonne partie des *Cyperaceae* telles que *Cyperus esculentus*, *C. papyrus*, *C. rotundus*, *Rhynchospora corymbosa*, *Scleria verrucosa*, etc., peuvent présenter simultanément un mode de reproduction sexuée et/ou asexuée (Lourognon, 1969 et 1970). On peut aussi penser que par la constitution des glumes de certaines *Poaceae* et *Cyperaceae*, l'hydrochorie joue un rôle primordial dans la dispersion des espèces des zones marécageuses. En effet, la structure morphologique de certaines espèces de ces deux familles permet de maintenir une certaine quantité d'air, ce qui a pour effet de favoriser leur flottaison et la survie de la graine.

L'analyse du type de dimension foliaire montre la prédominance des espèces microphylles, caractéristique électivement reconnue aux espèces herbacées et notamment aux *Cyperaceae* et *Poaceae* (Evrard, 1968). La proportion non négligeable des espèces mésophylles dans les marécages visités est due à la grande disponibilité des ressources telles que l'eau, les nutriments et la lumière. Dans la présente étude, on a observé une décroissance des espèces microphylles des bordures vers les zones en permanence humides. En effet, dans les zones en permanence humides, se trouvent les espèces qui sont caractéristiques d'habitats où la disponibilité des ressources est élevée ou qui présentent un potentiel élevé pour l'acquisition des ressources et une vitesse de croissance élevée à court terme. A l'opposé, dans les bordures se développent les espèces soumises au stress hydrique.

III-2-2- CARACTERISTIQUES STRUCTURALES ET DYNAMIQUE

La densité de *C. papyrus* est liée au degré d'hydromorphie du milieu. Elle est réduite dans les milieux à faible degré d'hydromorphie et devient élevée lorsque le milieu est en permanence humide. En Egypte et au Kenya, des études (Muthuri et Jones, 1996 ; Mamdouh, 2003) portant sur l'écologie de *C. papyrus* établissent un lien entre les fortes densités de *C. papyrus* et sa capacité d'exploitation des ressources abiotiques. Selon ces auteurs, *C. papyrus* a une densité maximale dans les zones humides enrichies en nitrates et phosphates. En effet, la population de *C. papyrus* augmente avec le niveau d'eutrophisation du milieu.

La dynamique de *C. papyrus* en milieu naturel varie selon les conditions du milieu. L'analyse des résultats obtenus montrent que la multiplication végétative est le mode de reproduction le plus répandu comparativement à la régénération par semis. Cremers et Hoff

(1993) signalent que la condition écologique la plus contraignante à la régénération par semis des Monocotylédones aquatiques est le niveau des eaux. En effet, les eaux favorisent la dégradation des diaspores, ce qui empêche toute possibilité de germination.

Le présent travail montre que trois facteurs écologiques semblent déterminer l'installation, la croissance et la survie de *C. papyrus* dans les communautés marécageuses de Yaoundé et ses environs. Ces facteurs écologiques concernent la saisonnalité, l'hydromorphie et les perturbations d'origine anthropique à travers les coupes de tiges.

La faible humidité des bordures ne favorise pas la dynamique de *C. papyrus*. Elle a pour effet de modifier les conditions environnementales des microhabitats. Ce phénomène affecte la distribution spatiale des niches écologiques de *C. papyrus* dont l'abondance et la dynamique sont tributaires de l'humidité. La niche écologique d'une espèce étant considérée comme l'espace occupé par une espèce le long de plusieurs gradients physique, chimique ou biologique (Campbell et Rochefort, 2001).

Par ailleurs, les coupes de tiges de *C. papyrus* ont un effet sur sa densité et sa régénération. En effet, la dynamique de *C. papyrus* est accélérée dans les zones plus soumises aux coupes de tiges. On peut penser que lorsque l'humidité du milieu ne limite pas l'évolution de *C. papyrus*, la lumière est le facteur plus important. Autrement dit, les populations de *C. papyrus* auraient besoin d'une certaine quantité de lumière pour que leur dynamique soit optimale.

III-2-3- SUIVI DE LA FLORAISON DE *C. papyrus*

La floraison de *C. papyrus* dans les marécages de Yaoundé présente quelques particularités liées aux caractéristiques environnementales. De manière générale, les résultats obtenus indiquent que trois facteurs écologiques clés déterminent la floraison de *C. papyrus* dans les marécages de Yaoundé: la saisonnalité, le stress hydrique et la teneur du marécage en éléments minéraux (Mg, Mn et N).

Suivant le premier facteur qui est la saisonnalité, deux pics de floraison sont observés dont le plus important en juillet, pendant la petite saison sèche, tandis que le pic le moins important se situe en mi-mars, au cours de la petite saison des pluies. De nombreuses études effectuées en milieu tropical lient la floraison à l'existence d'une période sèche ou humide (Aubréville, 1962 ; Tixer, 1973 ; Schnell, 1976 ; Faye, 2002 ; Traoré, 2000 ; Endress, 1998, cit. Mbarga Bindzi et al., 2003 ; Faye et al., 2010). Le maximum de floraison observée

pendant la petite saison sèche est en accord avec les observations de Puig (2001) en zone forestière humide.

Les résultats obtenus montrent que le stress hydrique favorise la floraison de *C. papyrus*. Elle est plus importante dans les bordures et très faible au sein des zones en permanence humides. Ce résultat montre qu'en fonction de l'état du milieu, le comportement floral de *C. papyrus* peut varier. Ainsi dans les zones en permanence humides on a des floraisons sporadiques ou parcimonieuses, tandis qu'au niveau des bordures, on a les floraisons de masse ou grégaires. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus en Guyane française par Puig et Sabatier (1986) qui indiquent que le déclenchement de la floraison ou de l'anthèse serait la conséquence d'un stress hydrique s'exerçant soit directement par la diminution de l'hygrométrie, soit par la sécheresse du sol. Cette interprétation physiologique de la floraison en saison sèche repose sur l'hypothèse du rôle déterminant joué par le rapport C/N liant nutrition glucidique et nutrition minérale (Trochain, 1980). Ces précédentes considérations physiologiques sur la nutrition minérale / floraison corroborent nos résultats qui indiquent que des teneurs élevées en Mg, Mn et N déterminent la floraison de *C. papyrus* sur les bordures des marécages. La dominance en quantité du Mn dans les bordures des marécages s'expliquerait par la baisse du pH et la pauvreté en matière organique. Ces résultats sont similaires à ceux de Saur (1989) qui signale que la richesse du sol en matière organique diminue la biodisponibilité du Mn. En opposition dans la forêt tropicale humide, Schnell (1970) pense que c'est un déficit en sels minéraux qui déclenche la floraison chez les espèces cauliflores telles que *Anaxagorea dolichocarpa* (*Annonaceae*), *Atrocarpus* sp. (*Moraceae*), *Crescentia cujete* (*Bignoniaceae*), *Cynometra cauliflora* (*Caesalpiniaceae*), *Diospyros cauliflora* (*Ebenaceae*), *Theobroma* spp. (*Sterculiaceae*), etc. Des facteurs autres que la saisonnalité, le stress hydrique et la nutrition minérale peuvent intervenir sur l'induction florale de *C. papyrus*. En effet, dans le présent travail, la baisse du nombre d'heures d'insolation enregistrées pendant la petite saison sèche (juillet-Août) jouerait un rôle stimulateur sur la floraison de *C. papyrus*. Il en est de même pour le pH dont les faibles valeurs de l'ordre de 5 stimulent la floraison.

Par ailleurs, aussi bien sur les bordures qu'en zones en permanence humides, l'hypothèse d'un antagonisme entre floraison et régénération végétative a été évoquée dans le présent travail. A l'instar des espèces ligneuses sexuellement matures, l'allocation des ressources énergétiques est destinée préférentiellement aux organes reproducteurs qu'à ceux de soutien (Janzen (1970 ; Puig et Prévost, 1986).

III-2-4-STOCKS DE MATIERE ORGANIQUE CARBONEE

Au total les marécages à *C. papyrus* de Yaoundé stockent $70,73 \pm 0,04$ t C / ha dans la biomasse aérienne et souterraine. Ce stock de carbone est inférieur à celui de $88,49 \pm 55,55$ t/ha obtenus dans les marécages à *Mitragyna* (*Rubiaceae*), *Macaranga* (*Euphorbiaceae*) et *Musanga* (*Cecropiaceae*) des environs du Park National de Lobéké (Zapfack et al., 2013). Cette différence s'explique par le fait que *C. papyrus* est une héliophyte tandis que *Mitragyna*, *Macaranga* et *Musanga* sont des macrophytes. Par ailleurs, des études similaires antérieures effectuées en Afrique de l'Est, notamment en Uganda (Saunders et al., 2007) et au Kenya (Muthuri et Jones, 1997) signalent des stocks de carbone de l'ordre de $46,95$ t C / ha et 39 t C / ha dans la biomasse respectivement. Ces valeurs sont plus faibles que celle obtenue dans la présente étude. Cette différence est due au fait que les marécages à *C. papyrus* de Yaoundé ont de fortes densités (en moyenne $50,29 \pm 20,26$ individus /m²) comparativement à ceux de l'Afrique de l'Est : Uganda ($22,10 \pm 1,6$ individus /m²) ; Kenya ($12,70 \pm 0,70$ individus /m²). Cette densité est particulièrement élevée dans l'Étang de la Retenue 1 avec $76 \pm 12,03$ individus /m². En effet, cette augmentation de la densité se traduit par une évolution de la production primaire dans cet étang qui est liée à la disponibilité des nutriments dont le phosphore et l'azote (Kenfack Voukeng, op. cit.). La forte teneur en phosphore et azote est un indice d'eutrophisation de l'étang de la Retenue. Ce qui amène Boyd (1971) à conclure que dans un biotope humide enrichi en élément minéraux et pollué, *C. papyrus* est capable de stocker plus de 50 t C / ha dans la biomasse.

Ces stocks de MOC sont particulièrement plus élevés dans le site de l'Étang de la Retenue 1 ($46,38$ t MOC / ha) que dans les autres sites. Cette valeur est inférieure à celle obtenue pour le Lac Tchad par Dajoz (2000) qui signale que les peuplements de *C. papyrus* ont un stock de carbone de l'ordre de $50 - 75$ t / ha. En comparant le résultat de l'Étang de la Retenue 1 à ceux des autres marécages, il ressort que les principales différences peuvent s'expliquer par l'âge du peuplement et le taux d'échantillonnage élevé par rapport aux autres sites. Ce résultat est proche de celui de Kengne et al. (2008) qui signalent 50 t C / ha dans les milieux contrôlés sous *C. papyrus*. Nos résultats paraissent légèrement inférieurs à ceux de Kenfack Voukeng (2009) qui a obtenu $48,70$ t C / ha dans le marécage de l'Étang de la Retenue. Par contre, ils sont de loin supérieurs à ceux de Fonkou (1996) qui signale dans le même site une accumulation de 40 t C / ha dans la biomasse.

En fonction des conditions environnementales régnant dans les sites, les stocks de carbone dans la biomasse sont plus élevés au niveau des zones en permanence humides (0,4 à 33,08 t MOC / ha) que dans les bordures (0,16 à 13,30 t MOC / ha). Ces résultats sont similaires à ceux de Jones et Humperies (2002) sur *C. papyrus* au Kenya qui signalent un stock de carbone élevé (1,6 kg C / m²) durant les périodes d'inondation et un faible stock de carbone (1,0 kg C / m²) durant la période de la baisse des eaux.

En outre, dans le présent travail, les stocks de carbone dans la biomasse aérienne et souterraine sont plus élevés dans les marécages à *C. papyrus* que dans les marécages à *C. senegalense* et *R. corymbosa* ainsi dans les marécages à *E. pyramidalis*. Mamdouh (2003) attribue cet important stock de carbone de *C. papyrus* à quatre facteurs interactifs, à savoir :

- son type métabolique : en effet *C. papyrus* une plante de type C₄ et donc plus productive que les plantes de type C₃ ;
- l'allocation de l'essentiel des hydrates de carbone dans les organes souterrains et notamment dans le rhizome ;
- la disponibilité de l'eau et des nutriments dans le milieu;
- le climat : *C. papyrus* montre un développement optimal sous climat subtropical et tropical.

Rocha et al. (2009), quant à eux, pensent que le potentiel de stockage du carbone de *C. papyrus* est lié à son efficacité élevée d'utilisation de carbone. Celle-ci serait donc supérieure à celle de *Typha latifolia* (*Typhaceae*) qui est de 0,65 (Bonneville et al., 2007) et $0,61 \pm 0,05$ (Rocha et al., op. cit.).

Les résultats obtenus dans les marécages à *C. papyrus* de Yaoundé montrent que le compartiment souterrain stocke plus de MOC (57,83 %) comparativement au compartiment aérien (42,17 %). Ce résultat est similaire à celui de Dajoz (2000) en Amérique du nord qui signale que la biomasse végétale souterraine des prairies est supérieure à la biomasse aérienne. Cette caractéristique oppose ces formations aux forêts. Par ailleurs, les stocks de carbone varient en général dans les organes de l'appareil végétatif. En effet, les résultats indiquent des variations de stock de carbone dans les différents organes : ombelles (20,34 %), tiges (24,68 %), rhizomes (53,34 %) et racines (1,48 %). Ces résultats sont en opposition avec ceux obtenus en Tanzanie dans les bordures du lac Victoria où *C. papyrus* stocke 18 %, 41 %, 41 %, 18 % et 18 % respectivement dans les ombelles, les tiges, les rhizomes, les racines et les feuilles.

27 % et 14 % de carbone respectivement dans les feuilles, tiges, rhizomes et racines (Bakari et al., 2007). Les proportions précédentes obtenues sur le Lac Victoria sont différentes des nôtres dans l'Etang de la Retenue 1 et le Lac Municipal où on a 45,17 et 54,83 % ; et 45 et 55 % de carbone respectivement dans la biomasse aérienne et souterraine. De plus dans le Lac Victoria, Bakari et al. (2007) indiquent les stocks de carbone de l'ordre de: 1,1 kg C / m² dans les racines ; 2,2 kg C / m² dans les rhizomes ; 2,95 kg C / m² dans les tiges ; 1,46 kg C / m² dans les ombelles ; 0,38 kg C / m² dans la litière. Comparées aux nôtres, ces valeurs sont relativement élevées. Les différences observées s'expliquent par le fait que la densité est plus élevée (117 ± 18 individus / m²) en Tanzanie (Bakari et al. (2007) que dans l'Etang de la Retenue 1 (76 ± 10 individus / m²) et le Lac Municipal (22 ± 3,12 individus / m²). Toutefois, des résultats similaires aux nôtres ont été obtenus dans les milieux contrôlés en Egypte, notamment à Damietta où on signale 31,42 - 38,89 % dans les organes aériens et 61,11 – 68,57 % dans les organes souterrains (Mamdouh, 2003). De même au Cameroun, Fonkou et al. (2011) ayant travaillé dans les milieux contrôlés signalent 31,30 % de carbone dans les organes aériens et 68,70 % dans les organes souterrains. Ces proportions suggéreraient que le biotope influence significativement le stockage du carbone dans les organes séquestrants de *C. papyrus*. En effet, le potentiel de stockage du carbone par *C. papyrus* est très élevé dans les organes souterrains des marécages soumis à une pollution organique, notamment les écosystèmes humides enrichis en phosphates et en nitrates (Kansiime et al., 2005 ; Kyambadde et al., 2005). Ces facteurs écologiques influencent aussi bien la densité que la productivité aérienne et souterraine des peuplements à *C. papyrus*. En comparaison avec les plantes ligneuses (arbustes et arbres), les héliophytes en milieu naturel montrent un rapport élevé de MOC souterraine sur la MOC aérienne (Sims et al., 1978; Hungate et al., 1997 ; Hui et Jackson, 2006 ; Maria et Susan, 2007 ; Rocha et al., 2009). Dans cette étude, *C. papyrus* suit cette tendance avec un rapport MOC souterrain sur MOC aérien de l'ordre 1,37. Malheureusement, les données se rapportant sur les stocks de carbone des organes souterrains des héliophytes en milieu naturel sont fragmentaires du fait des difficultés d'échantillonnage.

Dans les autres types de marécages, il ressort que les marécages à *E. pyramidalis* stockent moins de carbone que les marécages à *C. senegalense* et *R. corymbosa* avec respectivement 0,26 et 0,34 t C / ha. Ces stocks de carbone sont comparables, en moyenne, à ceux obtenus dans des formations analogues du point de vue écologique en peuplement naturel (Scirpaie : 6,33 x10⁻³ t C/ha, Phragmitaie : 10,65 x10⁻³ t C / ha et Typhaie : 11,5 x10⁻³ t C / ha) en ex-Tchécoslovaquie sous climat tempéré (Radoux, 1977) et au Maroc sous climat

méditerranéen (Abdeslam et Mohammed, 2005). Il est évident que ces estimations dépendent des conditions écologiques de chaque station et de la densité du peuplement végétal qui sont autant de facteurs pouvant influencer la productivité et subséquemment le stockage du carbone.

III-2-5- TENEURS ET STOCKS EN CARBONE DES SOLS

Dans le présent travail, les teneurs et stocks en carbone des sols sont significativement plus élevés dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* que dans les autres types de communautés floristiques. Les teneurs en carbone organique des sols (0-30 cm) sont élevées, supérieures à 30 g.C kg⁻¹ de sol, ce qui implique l'augmentation du stock de carbone dans le sol. L'analyse détaillée des résultats a montré que ces stocks de carbone du sol sont sous la dépendance de plusieurs facteurs interactifs : hydromorphie, MO, profondeur de la vase, pH, teneur en argile et les stocks de litière. Ces résultats sont en accord avec ceux de Singh et al. (2007) en Inde et de Nyssen et al. (2008) en Ethiopie qui rapportent que l'inondation et l'acidité du milieu ralentissent la minéralisation favorisant ainsi la formation d'un humus de type mor. La réduction de la décomposition de la matière organique dans les marécages constitue à cet égard une alternative à séquestration du carbone (Moreno et al., 2002).

Les résultats indiquent aussi une grande variabilité des teneurs et stocks en carbone des sols au sein et entre les différentes communautés floristiques. En effet, aussi bien dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* que dans les communautés marécageuses à *E. pyramidalis* ainsi que dans les communautés marécageuses à *C. senegalense* et *R. corymbosa*, les teneurs et stocks de carbone du sol sont élevés dans les zones en permanence humides que dans les bordures. Ce résultat est lié à l'objet sol dont les propriétés intrinsèques sont très variables même à l'échelle locale. Toutefois, dans la présente étude les différences de teneurs en carbone entre les zones en permanence humides et les bordures sont essentiellement attribuées à la permanence de l'eau et à une importante biomasse restituée au sol sous forme de matière organique. Cette matière organique stockée serait donc relativement stabilisée dans les zones en permanence humides car protégée contre la minéralisation microbienne. Autrement dit, pour que le carbone soit stocké durablement dans le substrat marécageux, il faut qu'il soit protégé contre la minéralisation microbienne. La littérature distingue trois formes de protection du carbone dans le sol en général (Saunders et al., 2007) : la protection « physique » par son emprisonnement à l'intérieur des agrégats stables du sol ; la protection « physico-chimique » par son association avec les fractions fines minérales du sol (argile et

limon fin) et ; la protection «biochimique par la récalcitrance des matières organiques vis-à-vis de laminéralisation suite à leur composition chimique. Pour Marti (1994) en Suisse, la végétation des bas-marais reflète les différentes propriétés chimiques et les fluctuations du niveau de l'eau; elle est de ce fait plus productive et plus diversifiée que celle des hauts-marais. Ainsi, Manneville et al., (1999) pensent que les tourbières tropicales sont des milieux minérotrophes avec de fortes précipitations et des baisses de températures saisonnières ou nocturnes qui bloquent la décomposition de la matière organique. Plus globalement, les formes de stabilisation et de conservation du carbone organique dans les marécages sont mal connues.

Par ailleurs, les observations dénotent une influence significative des différents niveaux sur les teneurs en N, CO, et MO ; avec les horizons de surface présentant les valeurs les plus élevées. Cette variation décroissante de N, CO et MO des surfaces vers les profondeurs est d'autant plus évidente que les surfaces sont soumises à des activités biologiques (Dommergues, 1963 ; Balesdent, 1993 et 2000 ; Balakrishna et Probst, 2005). En effet, dans les horizons de surface la matière organique qui est composée à environ 58 % de carbone organique (Schlesinger et Melack, 1981) est essentiellement sous forme d'humus.

La dynamique de la matière organique du sol (MOS) fait actuellement l'objet de nombreux travaux, notamment en ce qui est le rôle joué par les sols en tant que source ou puits de carbone (Post et al., 1982 et 2000 ; Schlesinger, 1984, 1991 ; Eswaran et al., 1993 ; Bernoux et al., 2002 ; Martinez et al., 2008 ; Malamoud et al., 2009). Plusieurs facteurs concourent ainsi au développement de la MOS, parmi lesquels la végétation (apport des résidus, composition floristique), le climat (température, précipitations, humidité), les propriétés du sol (texture, teneur en argile, minéralogie, acidité). L'influence de ces différents facteurs, de même que leurs interactions sur l'évolution de la MOS, peut-être mise en évidence par la détermination des stocks de carbone. Le présent travail présente une opposition des valeurs de la MOS entre les marécages à *C. papyrus* et les autres types de marécages. En effet, l'accumulation de la matière organique est plus importante dans les marécages à *C. papyrus* comparativement aux marécages à *E. pyramidalis* et aux marécages à *C. senegalense* et *R. corymbosa*. Cette teneur en MO des marécages sous étude est positivement corrélée à la concentration en carbone organique. Toutefois, dans l'ensemble des microhabitats et profondeurs considérés, les corrélations positives les plus fortes ont été obtenues dans les marécages à *C. papyrus* et les plus faibles dans les marécages à *E. pyramidalis* et aux marécages à *C. senegalense* et *R. corymbosa*. Ces différences s'expliquent

par une production et une accumulation plus importante de la MO dans les marécages à *C. papyrus* comparativement aux autres types de marécages caractérisés par une végétation herbacée pionnière fournissant peu de litière au sol. Des observations semblables ont été faites par de nombreux auteurs dans des sols restés longtemps colonisés par le même type de végétation (Mariotti et Balesdent, 1990; Desjardins, 1991 ; Schwartz et al., 1992 et 2002 ; Roscoe et al., 2001; Krull et Skjemstad, 2002 ; Fonseca et al., 2012). Ces auteurs pensent en effet que la quantité et la qualité de la MO sont directement liées aux différents types de végétation et à leur cycle végétatif. Au niveau des communautés marécageuses à *C. papyrus*, un tel enrichissement en carbone organique du sol pourrait s'expliquer par deux mécanismes essentiels : la libération du carbone par les rhizomes lors de leur dégradation et l'apport important de litière. Ce qui serait en accord avec les travaux de Gichuki et al., (2005) qui attribuent la richesse des communautés marécageuses à *C. papyrus* en carbone organique du lac Victoria à la densité de la litière *in situ*.

Le rapport C/N est un indice de la qualité de la matière organique, de son origine et de son aptitude à la décomposition (Dajoz, 2000 ; Puig, 2001). Il renseigne en effet sur le recyclage de la matière organique. Les valeurs faibles, de 5 à 8, caractériseraient une matière organique, facilement décomposée et élaborée à partir d'algues ou de bactéries. Par contre les végétaux supérieurs sont à l'origine de matières organiques plus pauvres en azote avec des C/N s'étalant de 20 à 100, les valeurs les plus fortes correspondant à des matières organiques stables, difficilement décomposables. Dans la présente étude, le rapport C/N a des valeurs plus élevées dans les marécages à *C. papyrus* tandis que les valeurs les plus faibles sont généralement observées dans les marécages à *E. pyramidalis* et les marécages à *C. senegalense* et *R. corymbosa*. Globalement, de la surface (0-30 cm) vers la profondeur (30-60 cm) des profils de sol, le C/N montre des valeurs supérieures à 20 dans les marécages à *C. papyrus* ; contrairement aux sols tropicaux des forêts humides qui ont un C/N proche de 12 (Anonyme, 1979). Ce qui pourrait indiquer une tendance à la baisse de la vitesse de décomposition de la litière produite par *C. papyrus* par les micro-organismes. De manière spécifique, le C/N est particulièrement élevé dans les zones en permanence humides comparativement aux bordures dans l'ensemble des marécages. Ce qui indique un gradient décroissant de dégradation de la MO des bordures vers les zones en permanence humides. Cette situation peut partiellement s'expliquer par la position micro-topographique des zones en permanence humides. En effet, contrairement aux bordures, les zones en permanence humides se trouvent dans les milieux où la pente est relativement modérée, ce qui favorise

l'hydromorphie et subséquemment l'anoxie. Au Congo, Boissezon (1962) pense qu'en raison de la forte anarébiose qui ralentit considérablement l'activité biologique dans les sols hydromorphes, la décomposition de la matière organique fraîche est très lente et incomplète, de sorte que les apports annuels excèdent les pertes par minéralisation. Ainsi dans les zones en permanence humides, en plus de ralentir la dégradation de la MO, l'hydromorphie conduirait à la protection physique du carbone contre la minéralisation microbienne.

Il est également à noter que les teneurs élevées en carbone organique sont associées à de fortes valeurs en argile dans les marécages à *C. papyrus* de Yaoundé, au niveau desquels une évolution parallèle entre les proportions d'argile dans l'horizon 0-30cm et les stocks de carbone est observée. Une telle distribution suggère qu'en plus de la richesse en MO en surface, la texture argileuse favoriserait aussi le stockage du carbone dans ces marécages. En effet, les argiles hydromorphes de la région de Yaoundé sont en général compactes, peu poreux et plastiques (Ngon Ngon, 2007). Ces facteurs favoriseraient une meilleure agrégation du substrat et en conséquence permettraient la protection physique du carbone du sol. Des résultats similaires aux nôtres ont aussi été signalés dans les bas-fonds du bassin versant de Mengong au Cameroun (Ndondo, 2008) où cet auteur a observé 9,8 % de carbone organique dans l'horizon argileux-humique, situé entre 10-60 cm, contre 4,1 % dans l'horizon sableux. Dans le même sens, Feller et al. (1991) et Lal (2005) ont montré pour les sols tropicaux mal drainés à argile cristallisée de type 1:1 (Kaolinite ou Te-Oc) ou 2:1 (Montmorillonite ou Te-Oc-Te) que les stocks de carbone du sol dépendent fortement de la texture (teneur en argile + limon fin), tant en milieu naturel que cultivé. Les teneurs élevées en particules fines observées dans les marécages à *C. papyrus* sont similaires à celles de Bachelier (1985) obtenus dans les sols hydromorphes de Yaoundé. Les observations sus-évoquées concordent avec les résultats obtenus sur les sols des marécages à *C. papyrus* et font d'eux d'excellents puits de carbone en Afrique tropicale. Ceci est d'autant pertinent que les stocks de carbone du sol de 66,25 kg/m² mesurés à 60 cm de profondeur dans les marécages à *C. papyrus* sont de loin supérieurs à ceux de 18,24 kg/m² obtenus au Bénin dans les savanes sur sols hydromorphes humiques à gley (Volkoff et al., 1999). Ces stocks de carbone sont aussi supérieurs à ceux de : 9,7 kg/m² dans les marécages à *Raphia monbuttorun* (*Palmae*) au Costa Rica (Bernal et Mitsch, 2008) ; 20 kg/m² dans les prairies (Robert et Saugier, 2003) ; 25 kg/m² obtenus dans les marécages d'eaux douces en Chine (Zhong et Qiguo, 2001) ; 32,79 kg/m² signalés dans les histosols en Malaisie (Padmanabhan et al., 2010) ; 39,61 kg/m² obtenus dans les mangroves mexicaines au Campeche (Cerón-Bretón et al., 2010) ; 31-52 kg/m² dans les forêts marécageuses d'eaux

douces au Mexique (Campos et al., 2011) ; 38-52 kg/m² dans les tourbières en Chine (Bao et al., 2010). Par contre, les résultats des stocks de carbone du sol sur 60 cm de profondeur obtenus dans la présente étude sont inférieurs à ceux de : 68,30kg/m² signalés un peuplement à *C. papyrus* du Lac Victoria (Saunders et al., 2007) ; 47-82 kg/m² obtenus à Tabasco dans les mangroves mexicaines à *Laguncularia racemosa* (*Combretaceae*) et à *Rhizophora racemosa* (*Rizophoraceae*) respectivement (Morneau et al., 2002). Ces derniers auteurs attribuent ces stocks de carbone des sols à la composition du couvert qui les surplombe. En effet, une végétation suffisamment dense réduit considérablement la radiation totale atteignant le sol ; il s'ensuit une réduction de la température du sol des marécages induisant en conséquence la formation d'un «humus grossier» ou tourbeux (Aubert, 1970).

Comparé à celui observé sur terre ferme en milieu forestier tropical, ce stock est presque 5 à 6 fois plus élevé : 13,31 kg/m² dans une forêt secondaire de Costa Rica (Fonseca et al., 2011) ; 11,08 et 14,32 kg/m² respectivement en forêt primaire et secondaire de Singapour (Min Ngo et al., 2013).

En général, dans le présent travail, le stock total de carbone du sol (662,5 t C/ ha) est environ neuf fois le stock de carbone dans la biomasse de *C. papyrus* (70,73 t C/ha). Ces résultats sont similaires à ceux de Ruellan (1995) à Madagascar, qui signale que dans les prairies, il y a dix fois plus de carbone dans les sols que dans la végétation.

III-2-6-VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE DU CARBONE

L'alternance saisonnière qui caractérise la région de Yaoundé fait apparaître au niveau des marécages à *C. papyrus* une variation saisonnière des stocks de carbone organique. En effet, la saison influence de manière significative les stocks de carbone dans la biomasse et le sol des marécages étudiés.

Dans les marécages à *C. papyrus*, les stocks de carbone les plus élevés dans la biomasse s'observent pendant la grande et la petite saison des pluies. Ce résultat est lié l'augmentation de la densité de *C. papyrus* en saison pluvieuse. En effet les précipitations auraient un effet stimulateur sur la régénération par rejets. Ces résultats sont proches de ceux de Wilcox (2004) aux Etas-unis qui pensent que les fluctuations hydrologiques réduisent la productivité des héliophytes.

Par ailleurs, les teneurs en carbone organique du sol de ces communautés marécageuses évoluent aussi au gré des saisons annuelles ; notamment dans le niveau 0-30 cm des bordures et des zones en permanence humides. On note dans ce niveau une hausse de la teneur en carbone en saison sèche et une baisse en saison pluvieuse. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Sigha-Nkamdjou et al. (1997) et Ndam-Ngoupayou (2005) dans le bassin forestier équatorial Dja-Ngoko qui confirment les variations des stocks de carbone organique liées aux saisons dans les milieux humides.

CHAPITRE IV.
CONCLUSION, PERSPECTIVES ET RECOMMANDATIONS

IV-1- CONCLUSION

L'étude intitulée «Dynamique du carbone dans les communautés marécageuses à *Cyperus papyrus* L. (*Cyperaceae*) de la ville de Yaoundé et ses environs» avait pour objectif de contribuer à la connaissance du rôle écologique des marécages à *C. papyrus* dans le stockage du carbone et de prévenir l'impact de leur disparition sur le changement climatique. En effet, l'étude du cycle du carbone en milieu forestier tropical humide en général et dans les marécages en particulier présente une importance significative, au regard de la contribution de ces milieux à la stabilité du climat. Il est important de rappeler dans le présent travail le rôle des marécages sur la régulation du climat de la terre, aussi bien au niveau local que global d'une part, et d'autre part, les enjeux actuels et futurs de la gestion des écosystèmes marécageux, en raison des diverses pressions auxquelles ils sont soumis.

Les recherches bibliographiques ont permis de faire le point sur l'état des connaissances se rapportant aux marécages du Cameroun en général. La rareté de ces recherches a été mise en évidence, ce qui laisse subsister de fortes lacunes en matière de connaissances botaniques, écologiques et éco-physiologiques de ces biotopes. Le choix des sites dans la région de Yaoundé s'est fait dans le souci de travailler dans une zone bioclimatique renfermant des marécages où subsistent encore *C. papyrus* et d'autres taxa.

La démarche méthodologique adoptée pour la caractérisation des marécages à *C. papyrus* a consisté à effectuer des relevés floristiques à base de transects, orientés des bordures vers les zones en permanence humides. De part et d'autre des transects, des surfaces de 50 m² ont été délimitées dans les placettes faiblement recouvertes, les placettes moyennement recouvertes et les placettes entièrement recouvertes. Parallèlement à cette étude botanique, les mesures des stocks de carbone ont été essentiellement effectuées au niveau de la végétation et du sol. Les stocks de carbone de la biomasse aérienne et souterraine ont été évalués par la méthode destructive. Ces quantifications sont similaires à celles données dans la littérature. Enfin, des mesures des stocks du carbone du sol ont été effectuées à deux profondeurs, à savoir : 0-30 cm et 30-60 cm, à masse équivalente de sol d'un kilogramme.

Les différentes mesures des stocks de carbone ont été effectuées dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* et des communautés marécageuses à *E. pyramidalis*, à *C. senegalense* et *R. corymbosa*, qui sont les plus représentés dans la région de Yaoundé. Le but étant d'obtenir de manière comparative des données indicatives sur les

stocks de carbone accumulés dans la biomasse et le sol des différents types de marécages retenus.

Les inventaires effectués au niveau des différents types de placettes des marécages à *C. papyrus* ont permis de recenser 47 espèces au total. Ces espèces sont réparties entre 21 familles et 32 genres. L'ensemble de ces espèces vivent en communauté avec *C. papyrus*. Les familles les plus importantes au niveau spécifique sont les *Cyperaceae* et les *Commelinaceae*.

Les indices de diversité calculés sont plus élevés dans les placettes faiblement recouvertes (2,78 bits) que les placettes moyennement recouvertes (1,23 bits) et les placettes entièrement recouvertes (0,08 bits). Les valeurs de ces indices de diversité, ainsi que la physionomie des placettes, ont permis de justifier les appellations de placettes faiblement, moyennement et entièrement recouvertes.

L'analyse des spectres biologiques a montré que de manière générale, les géophytes avec 34,04 % dominent dans les communautés marécageuses à *C. papyrus* de Yaoundé. Ils sont suivis par les thérophytes (27,66 %), les phanérophytes (17,02 %) et les chaméphytes (12,77 %).

L'étude de la répartition des espèces a révélé que les marécages à *C. papyrus* de Yaoundé sont dominés par les espèces à large distribution et Guinéo-congolaise. La flore de ces marécages n'est donc pas à aire de distribution restreinte. Elle est répandue à travers le monde et n'est pas typiquement liée aux marécages à *C. papyrus*. Ces espèces sont en majorité des autochones (61,70 %), et microphylls (46,80 %) pour leurs types foliaires.

Les résultats portant sur la dynamique de *C. papyrus* ont montré un remarquable taux de régénération par voie végétative avec 83,86 % contre 16,14 % pour la régénération par semis. L'hydromorphie et les coupes anthropiques sont deux facteurs qui régissent la dynamique de régénération de cette espèce. En effet, ces deux facteurs écologiques favorisent aussi bien l'émission que la croissance des rejets. Il convient de rappeler qu'une des caractéristiques essentielles de la dynamique de régénération de *C. papyrus* est sa dépendance vis-à-vis de la réserve hydrique du sol.

Le suivi de la phénologie florale de *C. papyrus* a permis de compléter la compréhension du cycle de vie de cette espèce en situant notamment dans le temps ses différentes périodes de floraison. L'observation des individus sous leurs différents états phénologiques (floraison et absence de floraison) révèle une forte variation inter et intra-site.

Les résultats confirment également l'importance des variations interannuelles entre les marécages à *C. papyrus* de Yaoundé. Par ailleurs, des différences marquées ont été observées entre les populations de *C. papyrus* des différents marécages lors de la période de floraison : ainsi les populations de l'Etang de la Retenue se caractérisent par une précocité qui s'explique par des différences de caractéristiques édaphiques.

Les différences observées au sein d'un même marécage peuvent aussi s'expliquer par la variabilité individuelle au sein du peuplement, elle-même étroitement liée aux caractéristiques génétiques et à l'âge des individus.

Malgré la superficie relative faible qu'occupe *C. papyrus* à Yaoundé (1,79 ha environs), les stocks de carbone sont importants tant dans la biomasse que dans le sol, comparativement aux marécages à *E. pyramidalis* et aux marécages à *C. senegalense* et *R. corymbosa*.

En plus des fonctions socio-économiques et environnementales des marécages à *C. papyrus* évoquées dans la revue de la littérature, la présente étude montre leur importance dans le stockage du carbone. La méthodologie utilisée a permis d'évaluer les stocks de carbone dans tous les compartiments : carbone aérien ; carbone souterrain ; carbone du sol. Les résultats ont montré que les communautés marécageuses à *C. papyrus* stockent une quantité importante de carbone dans la biomasse (70,73 t C / ha) et le sol (662,50 t C / ha en comparaison avec les autres types de marécages. Les stocks de carbone dans la litière des marécages à *C. papyrus* sont tout aussi élevés (1,00 kg. m⁻² mois⁻¹environ).

L'hydromorphie, la teneur en MO, la profondeur de la vase, le pH, la texture argileuse, le stock de litière et dans une moindre mesure à la pollution du milieu sont des facteurs clés agissant sur le stockage de carbone dans les marécages à *C. papyrus* de Yaoundé.

L'étude de l'allocation de carbone dans les différents compartiments a ainsi donné des indications du potentiel de CO₂ qui peut-être libéré dans l'atmosphère si les marécages à *C. papyrus* sont soumis aux perturbations d'origine anthropique: 0,19 % pour la litière ; 4,06 % pour le compartiment aérien ; 5,57 % pour le compartiment souterrain et 90,18 % pour le sol.

En effet, l'ensemble des marécages sous étude permettent d'optimiser le stockage du carbone dans les divers compartiments à travers leur biodiversité floristique, d'où l'intérêt pour leur conservation. Cette étude pourrait servir de base pour la mise en place de stratégies d'aménagement, de gestion et de conservation des marécages au Cameroun. Au regard de

leurs multiples fonctions, la conservation des marécages est aujourd'hui plus que primordiale dans les processus de développement durable. Les applications de ces conclusions à la gestion des communautés marécageuses à *C. papyrus* seraient d'éviter l'assèchement de ces milieux pour favoriser la dynamique de *C. papyrus* et optimiser le stockage du carbone.

IV-2- PERSPECTIVES

Afin de compléter la présente étude, il serait judicieux de :

- entreprendre des études similaires sur d'autres marécages des régions du Cameroun afin de promouvoir leur gestion durable ;
- étudier la capacité de stockage du carbone des peuplements de *C. papyrus* en fonction de leur âge ;
- envisager des études sur d'autres espèces de la famille des *Cyperaceae* qui présentent diverses potentialités dans les domaines socio-économique et écologique ;
- approfondir les recherches sur les méthodes d'estimation des stocks de carbone dans les marécages de la Sous-Région d'Afrique Centrale pour engendrer des bénéfices à la fois économiques et écologiques.

IV-3- RECOMMANDATIONS

Il est aujourd'hui constaté une dépendance accrue des ressources naturelles dans les marécages au Cameroun en général. En effet, l'urbanisation et l'accroissement démographique sont causes de la fragmentation et de la dégradation des marécages. Pourtant ces marécages influencent significativement le cycle du carbone en y stockant d'importantes quantités dans la biomasse et le sol. Ils devraient donc bénéficier de beaucoup d'attentions, ainsi que des conventions établies aux niveaux national et international sur la biodiversité à l'exemple de la Conférence de Stockholm (1972) et de la Convention des nations unies sur la diversité biologique signée par de nombreux pays lors du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro (UN, 1992). En effet, les modifications infligées aux marécages ont des conséquences majeures à grande et petite échelles ; se traduisant par une forte dégradation des ressources naturelles (déforestation et modification climatique). Ainsi, il est alors indispensable d'éviter une exploitation anarchique des marécages et d'interpeller les pouvoirs publics à la prise de certaines résolutions régissant leur protection telles que :

- promouvoir une connaissance approfondie des marécages du Cameroun et former des spécialistes des zones humides;
- sensibiliser les populations des dangers de l'assèchement, de la déforestation et du déversement des effluents ;
- sensibiliser les populations au respect de la réglementation liée à la protection et à la conservation des écosystèmes marécageux ;
- réglementer les activités agricoles et urbanistiques dans les marécages en créant une zone de protection intégrale où tout accès serait interdit aux activités anthropozoogènes ; elle servirait de puits de carbone, de zone refuge et de reproduction pour la faune sauvage ;
- identifier, protéger et restaurer les marécages dégradés en y introduisant *C. papyrus* en vue de l'optimisation du stockage du carbone;
- intensifier et valoriser le rôle joué par les forêts et en particulier les marécages au sein de certains programmes comme le REDD ; pour stabiliser les concentrations globales de GES dans l'atmosphère ;
- fournir des informations écologiques sur d'autres espèces colonisant les marécages et présentant des potentialités de stockage de carbone afin de sensibiliser le grand public, les ONG, les associations de protection de la nature ;
- explorer en relation avec l'importance croissante de *C. papyrus* dans les marécages en milieu urbain et rurbains de Yaoundé diverses utilisations possibles de la plante telle que la production des biogaz et des fibres.

BIBLIOGRAPHIE

- Abdeslam E. et Mohammed A., 2005. Diversité floristique et production de biomasse des macrophytes des marais de Smir. *Travaux de l'Institut Scientifique, Rabat, série générale*, n°4, 17-25.
- Agendia P.L., Fonkou T., Kengne I.M., Tchabda B. et Mefenya R., 1998. Agriculture urbaine: cas des bas-fonds de Nkolbikok à Nkolbisson, Yaoundé -Cameroun. *Proceedings of the 5th conference of Biosciences*, Yaoundé: 445-452.
- Albrecht A. et Kandji S. T., 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99:15-27.
- Alfred O., Owino et Peter G. R., 2006. Recent *Papyrus* swamp habitat loss and conservation implications in western Kenya. *Wetland Ecology and Management* 15: 1-12.
- Algoet B., 2008. Phénologie et régénération du Wenge (*Milletia laurentii*) en République démocratique du Congo. Mémoire de fin d'étude. Agro-Paris Tech., Paris. 120 p.
- Amiotte-Suchet P., Probst J. L. et Ludwig W., 2003. Worldwide distribution of continental rock lithology: implications for the atmospheric/soil CO₂ uptake by continental weathering and alkalinity river transport to the ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 17(2): 45-51.
- Amougou A., 1986. Etude botanique et écologique de la vallée inondable du haut-Nyong. Thèse, Univ. de Yaoundé. 288 p.
- Amougou A., 1987. Contribution à la connaissance des *Raphia* du Cameroun. *Ann. Fac. Sci. Sér. III*, I (4): 21-35.
- Amougou J. A., 2010. Le REDD au Cameroun : contexte, actions et perspectives. Point Focal de la CCNUCC Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature. 22p.
- Anne P., 1945. Sur le dosage rapide du carbone organique dans les sols. *Ann. Agron.* N°. 2, 161-172.
- Anonyme, 1979. *Ecosystèmes Forestiers Tropicaux*, Paris. 710 p.
- Anonyme, 1992. *Convention Cadre sur les Changements Climatiques*.
- Anonyme, 1999 a. *Situation des forêts dans le monde*. FAO, Rome, 154 p.
- Anonyme, 1999 b. Exploring collaboration between the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran, 1971) and the UN Framework Convention on Climate Change website: <http://www.ramsar.org>, accessed January 2010.

- Anonyme, 2001 a. Soil carbon sequestration for improved land management. In, World Soil Resources Reports, Rome, 75 p.
- Anonyme, 2001 b. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change. Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P., Dai X. et Maskell K. (Ed.). *Cambridge University Press*, Cambridge, 944 p
- Anonyme, 2004 a. Shoreland management guide: wetlands Minnesota Department of Natural Ressources. 90 p.
- Anonyme, 2004 b. Inventaire des zones humides. Manuel Ramsar pour l'utilisation rationnelle des zones humides, 2ème édition, Manuel 10. Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse, 56 p.
- Anonyme, 2006. Agriculture, Forestry and Other Land Use. In: Simon Eggleston, L.B., Kyoko Miwa, Todd Ngara and Kiyoto Tanabe (Ed.), Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Japan. 996 p.
- Anonyme, 2007. Climate change 2007. The physical basis. Contribution of working group I to the fourth assessment Report of Intergovernment panel of Climate Change. In *Cambridge University press*, Cambridge, 996 p.
- Anonyme, 2009. Bilan 2009 des changements climatiques: contribution des groupes de travail I, II et III au quatrième rapport d'évaluation du GIEC.
- Anonyme, 2010. La population du Cameroun en 2010. 3^{ème} RGPH. 10 p.
- Anonyme, 2012. Les forêts du Bassin du Congo. Etat des forêts 2010. Luxembourg : Office des publications de l'Union européenne. 274 p.
- Anonyme, 2013. Proposition de mesures pour l'état préparation (R-PP). Pays: Cameroun. Programme de coopération des Nations Unies pour la réduction des émissions dues au déboisement et à la dégradation des forêts dans les pays en développement (ONU-REDD). 157 p.
- Akpo L.E. 1993. Influence du couvert ligneux sur la structure et fonctionnement de la strate herbacée en sahélien. Orstom. éd., TDM, 174 p.
- Assonfack H., 2004. Inventaire des *Cyperaceae* et des *Poaceae* dans quelques écosystèmes de la ville de Douala. Mémoire de Maîtrise, Université de Douala. 45 p.
- Aubert G., 1970. Influence de la végétation sur le sol. Influence de la végétation sur les processus de la pédogenèse. Influence de la végétation sur le sol en zone tropicale humide et semi-humide. ORSTOM. 22 p.

- Aubréville A., 1962. Position chorologique du Gabon. Flore du Gabon, *Mus. Nat. Hist. Nat.* Paris., 3: 3-11.
- Aumont O., Orr J. C., Monfray P., Ludwig W., Amiotte-Suchet P., et Probst, J.L., 2001. Riverine-driven interhemispheric transport of carbon. *Global Biogeochem. Cycles*, 15 (2), 193-205.
- Bachelier G., 1985. Etude pédologique des sols de Yaoundé. Contribution à la pédogénèse des sols ferrallitiques .ORSTOM. Vol.XIV, n° 3, 1959. 280-305.
- Bakari M., Takashi A., Yustina K. et Ayubu E., 2007. Primary production in Papyrus (*Cyperus papyrus* L.) of Rubondo Island, Lake Victoria, Tanzania. *Wetlands Ecol. Manage* 15: 269-275.
- Balakrishna K. et Probst J.L., 2005. Organic carbon transport and C / N ratio variation in a large tropical river: Godavari as a case study, India. *Biogeochemistry* 73, 457-473.
- Balesdent J., Girardin C. et Mariotti A., 1993. Site-related $\delta^{13}\text{C}$ of tree leaves and soil organic matter in a temperate forest. *Ecology* 74 (6), 1713– 1721.
- Balesdent J., Chenu C. et Balabane M., 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil & Tillage Research*, 53, 215-230.
- Bangirinama F., Bigendako M. J., Noret N., De Cannière C. et Bogaert J., 2010. Les indicateurs de la dynamique post-culturale de la végétation des jachères dans la partie savane de la réserve naturelle forestière de Kigwena (Burundi). *Plant Ecology and Evolution* 143 (2): 138–147.
- Bao K., Yu X., Jia L. et Wang G., 2010. Recent carbon accumulation in Changbai Mountain peatlands, Northeast China. *Mountain Research and Development*, 30 (1), 33–41. doi:10.1659/MRD-JOURNAL-D-09-00054.1.
- Barbault R., 1983. *Ecologie générale*. Masson, Paris. 273 p.
- Barnaud G., Barre V., Weng P., 2004. *Programme National de recherche sur les zones humides-Les actes de colloque de Toulouse*. 305 p.
- Bernal B. et Mitsch W.J., 2008. A comparison of soil carbon pools and profiles in wetlands in Costa Rica and Ohio. *Ecological Engineering*, 34, 311–323.
- Bernoux M., De Carvalho M., Volkoff B. et Cerri C. C., 2002. Brazil's soil carbon stocks. *Soil Science Society of America Journal*, 66 (3): 888-896.
- Bhadwal S. et Singh R., 2002. Carbon sequestration estimates for forestry options under different land-use scenarios in India. *Curr. Sci.* 83 (11) : 1380-1386.
- Bibani Mbarga R., Jonkers W. B. J. et Essama Etoundi J., 1998. *Phénologie de 86 essences productrices de bois d'œuvres de la forêt dense humide du Sud-Cameroun. Résultats préliminaires*. Libreville FORAFRI. 16 p.

- Birkeland C., 1984. "Influence of topography of nearby land masses in combination with local water movement patterns on the nature of nearshore marine communities". In: UNESCO reports in marine science. (27) 16-31.
- Bizuru E., 2005. Étude de la flore et de la végétation des marais du Burundi. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 311 p.
- Blanchart E. et Bernoux M., 2002. Déterminants des stocks de carbone des sols des petites Antilles (Martinique, Guadeloupe). Alternatives de séquestration du carbone et spatialisation des stocks actuels et simulés. Montpellier. 104 p.
- Blondel J., 1979. Biogéographie et écologie. Masson, Paris. 238 p.
- Blondel J., 1995. *Biogéographie. Approche écologique et évolutive*. Masson, Paris. 29 p.
- Boar R. R., Harper D. M. et Adams C. S., 1999, Biomass allocation in *Cyperus papyrus* in a tropical wetland, Lake Naivasha, Kenya. *Biotropica* 31 (3), 411–421.
- Bopda A. et Awono J., 2003. L'agriculture urbaine et périurbaine à Yaoundé (Cameroun). Aspects institutionnels. Rapport final, INC, CUY/SUIPA, 88 p.
- Boissezon P., 1962. Contribution à l'étude des matières organiques des sols de la République du Congo.O.R.S.T.O.M., Brazzaville. 54 p.
- Borchert R., 1994. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees. *Ecology* 75, 1437-1449.
- Boupoya A., Doumenge C. et Lejoly J., 2009. La végétation des clairières sur sol hydromorphe dans le massif forestier du Nord-Est du Gabon: première étude sur la clairière de Mékandjé (Parc National de l'Ivindo). *Acta Bot. Gallica* 157 (1), 135-150.
- Boyd C. E., 1971. The dynamics of dry matter and chemical substances in a *Juncus effuses* population. *Am. Mild. Nat.* 86: 38-45.
- Cadamuro L., 1999. Structure et Dynamique des écosystèmes inondables (forêt marécageuse, mangrove) du bassin du Sinnamary (Guyane Française). Thèse. Académie de Toulouse Université Paul Sabatier – Toulouse III. 254 p.
- Campbell D. R., et Rochefort L., 2001. La végétation: gradients. Pages 129-140 In : S. Payette et L. Rochefort, éditeurs. Écologie des tourbières du Québec-Labrador. Les Presses de l'Université Laval, Québec, Canada.
- Campos A., Hernández M., Moreno-Casasola P., Cejudo E., Robledo A., Infante Mata D., 2011. Soil water retention and carbon pools in tropical forested wetlands and marshes of the Gulf of Mexico. *Hydrological Sciences Journal*, 56:8, 1388-1406.

- Canadell J.G., Kirschbaum M. U. F., Kurz W. A., Sanz M. J., Schlamadinger B., Yamagata Y., 2007. Factoring out natural and indirect human effects on terrestrial carbon sources and sinks. *Environmental Science and Policy* 10, 370 - 384.
- Cao M., Woodward F.I., 1998. Dynamic responses of terrestrial ecosystem carbon cycling to global climate change. *Nature* 393, 249-252.
- Cerón-Bretón J.G., Cerón-Bretón R.M., Rangel-Marrón M. et Estrella-Cahuich A., 2010. Evaluation of carbon sequestration potential in undisturbed mangrove forest in Términos Lagoon, Campeche. *Development, Energy, Environment, Economics*. 295-300.
- Chan Y.H., 1982. Storage and release of organic carbon in peninsular Malaysia. *International Journal of Environmental Studies*. 18, 211-222.
- Chedin A., 1994. « Effet de serre et réchauffement global » in : Courteix S., Droit, Télédétection et environnement. *SIDES*, Paris. 45-52.
- Combes R., Gertrude M. T. et Lévine G. 1952. Action du milieu aquatique et action de la lumière atténuée sur l'accumulation des minéraux chez les plantes amphibies. Extrait de la Revue générale de Botanique. Tome 59. Paris, 19 p.
- Cremers G. et Hoff M., 1993. Inventaire taxonomique des plantes de la Guyane française. Les Cypéracées et les Poacées. Paris. 216 p.
- Crow, P., Houston, T.J., 2004. The influence of soil and coppice cycle on the rooting habit of short rotation poplar and willow coppice. *Biomass and Bioenergy* 26, 497-505.
- Dajoz R. 2000. *Précis d'écologie. Structure et productivité de quelques écosystèmes*. Dunod, Paris. 615 p.
- Dajoz R., 2008. La biodiversité. L'avenir de la planète et de l'homme. Paris. 275 p.
- Dansereau P. et Lems K., 1957. The grading of dispersal types in plant communities. *Contrib. Inst. Bot. Montreal.*, 71: 1-52.
- Delice M.S., 2002. Yellow Nutsedge *Cyperus esculentus*. Snack food of the gods. *Weed technology*, 16: 901 - 907.
- Delville P.L. et Boucher L., 1996. Les bas-fonds en Afrique tropicale humide. Guide de diagnostic et d'intervention. Paris/Gret. 411 p.
- Desjardins T., Volkof B., Andreux F. et Cerri C.C., 1991. Distribution du carbone total et de l'isotope ^{13}C dans les sols ferrallitiques du Brésil. *Sciences du Sol* 29, 175-187.
- Dixon R.K., Brown S., Houghton R.A., Solomon A.M., Trexler M.C. et Wisniewski J., 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *Science*, 263, 186-190.

- Dkamela G. P., 2011. Le contexte de la REDD+ au Cameroun. Causes, agents et institutions. CIFOR, Bogor, Indonesia. 86 p.
- Dommergues Y., 1963. Les cycles biogéochimiques des éléments minéraux dans les formations tropicales. *Bois et Forêts des Tropiques*, 87, 9-25.
- Duchauffour P., 1977. Pédogenèse et classification des sols. Ed.Masson. Paris. 477 p.
- Duncan P. J. 1990. *Wetland conservation : a review of current issues and required action*. IUCN, Gland, 96 In: fonctions et valeurs des zones humides, 2000.
- Eswaran H., Van den Berg E. et Reich P., 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 192-194.
- Evrard C., 1968. Recherches écologiques sur le peuplement forestier des sols hydromorphes de la cuvette congolaise. *Publ. INEAC, Ser. Scient.* 110 : 295 p.
- Fan J. W., Zhong H. P., Harris W., Yu G. R., Wang S. Q., Hu Z. M., Yue Y. Z., 2008. Carbon storage in the grasslands of China based on field measurements of above- and below-ground biomass. *Climatic Change* 86:375–396.
- Faye M. N., 2002 Etude phénologique du genre *Rhizophora* et influences des facteurs édaphologiques (pH et salinité) sur la végétation de la mangrove de l'estuaire du Saloum, Sénégal. Mémoire de DEA, Ecologie végétale. Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, 42 p.
- Faye M., Guisse A., Diallo N. et Diop E., 2010. Etude phénologique des *Rhizophora* de la mangrove de l'estuaire du saloum, Sénégal. *Ann. Bot. Afr. Ouest* (06) : 120 – 133.
- Feller C. Fritsch E. Poss R. et Valentin C., 1991. Effets de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest. en particulier). Cahiers ORSTOM. *série Pédologie*. 26. 25-36.
- Ferry B., 1994. Etude des humus forestiers des Ghâts occidentaux en Inde du Sud-acteurs climatiques, édaphiques et biologiques intervenant dans le stockage de la matière organique du sol. *Publication du département d'écologie*, Institut français de Pondichéry, n°34, 260 p.
- Feudjou Mvuh A., 1988. Apport de la tectonique cassante dans le relief contrasté de la région de Yaoundé. Mém. DIPES II. ENS. Univ. Yaoundé I. 64 p.
- Fonkou T., 1996. L'épuration par voie naturelle des eaux usées du campus de l'Université de Yaoundé I. Thèse de Doctorat 3^{ème}. Cycle.Univ. de Yaoundé I. 133 p.
- Fonkou, T., Nguetsop, V. F., Pinta, J. Y., Dekoum, V. M., Lekeufack, M. and Amougou, A., 2005. Macrophyte diversity in polluted and non-polluted wetlands in Cameroon, *Cameroun journal of experimental biology*, 01 (1): 26-33.

- Fonkou T., Ivo Balock Sako, Lekeufack M., Mekontso Tankoua F. et Amougou Akoa, 2011. Potential of *Cyperus Papyrus* in Yard-Scale Horizontal Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Cameroon. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*, (1): 160-168.
- Fonseca W., Benayas J. M. R. et Federico E. A., 2011. Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 262 1400–1408.
- Fonseca F., Figueiredo T, Ramos M. A., B. 2012. Carbon storage in the Mediterranean upland shrub communities of Montesinho Natural Park, northeast of Portugal. *Agroforest Syst.* 1-15.
- Foucault et Raoult 2003. Dictionnaire de géologie, 5e éd Dunod. Paris, 379 p.
- Francez A. J., Gogo S., Josselin N., 2000. Distribution of potential CO₂ and CH₄ productions, denitrification and microbial biomass C and N in the profile of a restored peatland in Brittany (France). *European Journal of Soil Biology* 36, 161-168.
- Fournier F. et Sasson A., 1983. Ecosystèmes forestiers tropicaux d’Afrique. Orstom. Unesco 131 p.
- Fustec E., Lefeuvre J. C. et coll., 2000. *Fonctions et valeurs des zones humides*. Dunod: Paris. 426 p.
- Gaudet J.J., 1977. Uptake, accumulation and loss of nutrients by *papyrus* in tropical swamps. *Ecology*. 58: 415-422.
- Gauthier R., 1989. La végétation des tourbières et les sphaignes du parc des Laurentides. *Études écologiques* 3:1-634.
- Germain R., 1952. Les associations végétales de la plaine de la Rusizi (Congo belge) en relation avec le milieu. *Publ. I.N.E.A.C, ser. Sc.*, 52. 321 p.
- Germain R., 1965. Les biotopes alluvionnaires herbeux et les savanes intercalaires du Congo Equatorial. Acad. Roy. Sc. Outre-Mer, Cl. Sc. Nat. Méd. Mém. in-8°, nov. ser., 15 (4), 399 p.
- Ghannoun O., Von Caemmerer S., Ziska L. H. et Conroy J.P., 2000. The growth response of C₄ plant to rising atmospheric CO₂ partial pressure: a reassessment. *Plant, cell and environment*, 23: 931-942.
- Gras R., 2001. Relations entre les propriétés physiques du sol et la croissance des héliophytes dans la Sarthe. *Annales agronomiques*, 12, 2, 207-248.
- Gichuki J. W., Triest L. et Dehairs F., 2005. The fate of organic matter in a *papyrus* (*Cyperus papyrus* L.) dominated tropical wetland ecosystem in Nyanza Gulf (Lake Victoria, Kenya). *Isotopes in Environmental and Health Studies*.41: 379 – 390.

- Grinand C., Rajaonarivo A., Pajot V., Bernoux V., Albrecht A. et Feller C., 2008. Estimation des stocks de carbone dans les sols malgaches. *Les sols tropicaux en semis direct sous couvertures végétales*. Antananarivo, 199 p.
- Grouzis M. et Sicot, 1980. A method for the phenological study of browse populations in the Sahel: the influence of some ecological factors. In: *Browse in Africa, the current state of knowledge*, Le Houéron éd. I.L.C.A., Addis Abeba, 49 p.
- Habiyaremye F. X. et Roche E., 2004. Contribution à l'observation de variations environnementales au Mali par l'analyse d'un transect phytogéographique Bamako- Tombouctou. *Geo-Eco-Trop*.28 : 1-14.
- Hairiah K, Dewi S, Agus F, Velarde S, Ekadinata A, Rahayu S and van Noordwijk M., 2010. *Measuring Carbon Stocks across Land Use Systems: A Manual*. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre (ICRAF), SEA Regional Office, 155 p.
- Hassan R., 1979. Contribution à l'étude du *Papyrus* et à sa transformation en support de l'écriture PH.D. Thesis from Gernoble University, France. 214 p.
- Hassan H., 2000. Papyrus control to sequestration C and mitigate the greenhouse effect. In *sequestration in soil*.83-139.
- Heimann M., Treichstein M., 2008. Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks. *Nature* 451, 234-241.
- Heller R., Esnault R., Lance C., 1989. *Physiologie végétale. Nutrition*. Paris Milan Barcelone Mexico.273 p.
- Hendrickson, 1990. How does forestry influence atmospheric carbon? *Forestry chronicle* 66, 469-470.
- Heywood V. H., 1996. Pour l'édition française. Cyperales. In : *les plantes à fleurs- 306 familles de la flore mondiale*. Nathan. 292-293.
- Houghton R.A., Goetz S.J., 2008. New satellites offer a better approach for determining sources and sinks of carbon. *Eos Transactions of the American Geophysical Union* 43, 417-418.
- Hui D. et Jackson R. B., 2006. Geographical and interannual variability in biomass partitioning in grassland ecosystems: a synthesis of field data. *New phytologist* 169: 85–93.
- Hungate B. A., Holland E. A., Jackson R. B., Chapin F. S. III, Mooney H. A., Field C. B. 1997. The fate of carbon in grasslands under carbon dioxide enrichment. *Nature* 388: 576–579.
- Hutchinson H. et Daziell M., 1972. Flora of west tropical Africa. *Kew. Bull.* Londres, 30 (2): 247-326.

- Janzen D., 1970. Herbivores and the number of tree species in tropical forests: *American Naturalist* (Chicago), vol. 104, n° 940: 501-528.
- Jauzein P., 1996. Les souchets tubéreux : « comestible ou rond », il faut apprendre à les connaître. *Phytoma*, 484, 27-31.
- Jones H. G., 1983. *Papyrus*: A new fuel for the third world. *New scientist* 17; 418-421.
- Jones H. G., 1992. Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology, 2nd éd. Cambridge University Press, Cambridge, 428 p.
- Jones M. B. et Muthuri F. M., 1997. Standing biomass and carbon distribution in a *Papyrus* (*Cyperus papyrus* L.) swamps on lake Naivasha, Kenya. *J. Trop.Ecol.* 13 : 347-356.
- Jones M. B. et Muthuri, F. M., 1985. The Canopo structure and microclimate of *Papyrus* (*Cyperus papyrus* L.) swamps. *Journal of Ecology* 73: 481 – 491.
- Jones M. B. et Humphries, S. W., 2002. Impacts of the C₄ sedge *Cyperus papyrus* L. on carbon and water fluxes in an African wetland. *Hydrobiologia*, 488 (1 – 3): 107 – 113.
- Judd M., Campbell K., et Stevens T., 2002. Relations phylogéniques entre les Angiospermes. Botanique systématique- Une perspective phylogénétique. De Boeck Université, première édition 210-216.
- Kandel R. et Fouquart Y., 1992. Le bilan radiatif de la terre. *La recherche* 23 (243) : 316-324.
- Kansiime F., Oryem –Origa H. et Rukwago S., 2005. Comparative assessment of the value of *Papyrus* and cocoyams for the restoration of the Nakivubo wetland in Kampala, Uganda. *Physics and Chemistry of the earth*, 30 (11-16 SPEC. ISS).698-705.
- Keith M. L. et Weber J. N., 1964. Isotopic composition and environmental classification of selected limestones and fossils. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 28, 1787-1816.
- Kenfack Voukeng. S. N., 2009. Absorption de quelques éléments minéraux (N, P, Na, K) par *Cyperus papyrus* L. en rapport avec leur disponibilité dans les sédiments. Mém. de DEA. Univ. de Yaoundé I. 44 p.
- Kengne I. M., 2000. Evaluation d'une station d'épuration des eaux domestiques par lagunage à macrophytes à Yaoundé. Performances épuratoires, développement et bio-contrôle des Diptères *culicidae*. Thèse de Doctorat 3 ème cycle, Université de Yaoundé I. 137 p.
- Kengne I. M., Amougou A., Soh E. K., Tsama V., Ngoutane M. M., Dodane P.H. & Koné D., 2008. Effects of fecal sludge application on growth characteristics and chemical composition of *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitch. And *Cyperus papyrus* L. *Ecological Engineering* 30: 1-10.

- Kipkemboi J., Kansiime F. et Denny P., 2002. The response of *Cyperus papyrus* and *Micanthidium violaceum* to eutrophication in natural wetlands of Victoria, Uganda. *Afr. J. Aquatic Sci.* 27 (1): 11-20.
- Kono L. D., 2007. Biodiversité et signification écologique des *Cyperaceae* de la ville de Yaoundé et ses environs. Mém.DEA.Univ. de Yaoundé I. 58 p.
- Kono L.D., Mbarga Bindzi A., Angoni H., Biyé E.H. et Endanga D.G.H., 2015. Carbon allocation of stands of *Cyperus papyrus* L. (*Cyperaceae*) in forested wetlands: the case. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, vol. 70, 2015: 1-18.
- Koskela J., Nygren P., Berninger F., Luukkanen O., 2000. Implications of the Kyoto Protocol for tropical forest management and land use: prospects and pitfalls. In, Tropical Forestry Reports University of Helsinki, Department of Forest Ecology, Helsinki
- Kotto-Same, J.P., Woomer, M., Appolinaire, M., et Zafack, L., 1997. Carbon dynamics in slash and burn agriculture and land use alternatives of the humid forest zone in Cameroon. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 65: 245-256.
- Kouka L. A., 2000. Recherches sur la flore, la structure et la dynamique des forêts du Parc National d'Odzala (Congo-Brazzaville). Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, 393 p.
- Krull E. S. et Skjemstad J. O., 2002. $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ profiles in ^{14}C -dated oxisol and vertisols as a function of soil chemistry and mineralogy. *Geoderma* 112, 1 – 29.
- Kuété M., 1977. Etude géomorphologique du massif de Yaoundé. Thèse de Doct. 3^{ème} cycle, Univ. Bordeaux III. 279 p.
- Kyambadde J., Kansiime F. et Dalhammar G., 2005. Nitrogen and phosphorus removal in substrate-free pilot constructed wetlands with horizontal surface flow in Uganda. *Water, air and soil Pollution*, 165 (1- 4). 37-59.
- Kyambadde J., Kansiime F., Gumaelius L. et Dalhammar G., 2004. Hydraulic loading, stability and water quality of Nakivubo wetland. Uganda. *African Journal of aquatic Science*, 29 (2): 213-220.
- Landais D., 2003. Etudes quantitatives et qualitatives du carbone séquestré dans le sol après afforestation au Congo Brazzaville. Mémoire de stage DESS en Sciences de l'Environnement. In. Université Louis Pasteur, France, 33 p.
- Lal L., 2005. Forest soils and carbon sequestration. *Forest Ecology and Management* 220 242–258.
- Lavieille J. M., 2010. Droit international de l'environnement. Paris. 368 p.
- Lebrun J., 1947. La végétation de la plaine alluviale au Sud du lac Edouard. Exp. Parcs Nat. Albert. Mission Lebrun (1937-1938). Inst. Parcs Nat. Congo belge, I, 467 p., II: 471-800.

- Lebrun J., 1966. Les formes biologiques dans les végétations tropicales. Bull. Soc. Bot. France. *Mémoire*. 22: 164-175.
- Lebreton J. et Yoccoz N., 1987. *Multivariate analysis of bird count data*. Acta Oecol. / *Oecologia*. 8 : 125 - 144.
- Leroux M., 2004. La dynamique du temps et du climat. Paris. Dunod, 362 p.
- Letovzey R., 1968. Etude phytogéographique du Cameroun. Edi. P. Lechevalier Paris, 511 p.
- Letouzey R., 1972. *Manuel de botanique forestière. Afrique Tropicale*. Tome 2. CTFT, Toulouse. 451 p.
- Letouzey R., 1985. Notice de la carte phytogéographique du Cameroun au 1 :500.000, IRA. Yaoundé, Institut de la carte Internationale de la végétation, Toulouse. 240 p.
- Leupi E., 1994. Les bas-marais doivent-ils posséder un sol tourbeux? Manuel Conservation des marais en Suisse. 127 p.
- Lewis S. L., Lopez-Gonzalez G., Sonké B., Affum-Baffoe K., Baker T. R., Ojo L. O., Phillips O. L., Reitsma J.M., White L., Comiskey J. A., Djuikouo K. M. N., Ewanga C.E.N., Feldpaush T.R., Hamilton A.C., Gloor M., Hart T., Hladik A., Lloyd J., Lovett J.C., Makana J.R., Malhi Y., Mbago F.M., Ndangalasi H.J., Peacock J., Peh K. S.H., Sheil D., Sunderland T., Swaine M.D., Taplin J., Taylor D., Thomas S.C., Votere R. et Wöll H., 2009. Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature*, 457 (19): 1003-1006.
- Lorougnon G., 1969. Etude morphologique et biologique de deux variétés de *Cyperus esculentus* LINN. (Cypéacées). Cah. ORSTOM, sér. Biol. n° 10, 35-63.
- Lorougnon G., 1970. Morphogenèse et multiplication végétative de quelques Cypéacées. *Ann. Sc. Nat. Bot.*, XI (12) : 179-232
- Lorougnon G., 1972. *Les Cyperaceae forestières de Côte d'Ivoire*. Mémoire 58 O.R.S.T.O.M., Paris. 102 p.
- Ludwig W., Probst J.L. et Kempe S. 1996b. Predicting the oceanic input of organic carbon by continental erosion. *Global Biogeochemistry Cycles* 10, 23-41.
- Luyssaert S., Schulze E.D., Börner A., Knohl A., Hessenmöller D., Law B.E., Ciais P., Grace J., 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455, 213-215.
- Mahamane A., 2005. Étude floristique, phytosociologique et phytogéographique de la végétation du Parc Régional du W du Niger. Thèse de doctorat. Université Libre de Bruxelles. 517 p.
- Malhi Y., Meir P., Brown S., 2002. Forests, carbon and global climate. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 360, 1567-1591.

- Mamdouh S. et Serag, 2003. Ecology and biomass production of *Cyperus papyrus* L. on the Nile bank at Damietta, Egypt. *Journal of Mediterranean Ecology* vol.4, No.3-4: 15-24.
- Manneville O., Vergne V. et Villepoux O., 1999. Le monde des tourbières et des marais. France, Suisse, Belgique et Luxembourg. Lausanne-Paris: Delachaux et Niestlé, 320 p.
- Martinez E., J.P. Fuentes et E. Acevedo., 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. R.C. *Suelo Nutr. Veg.* 8 (1): 68-96.
- Masharabu T., Noret N. Lejoly J. Bigendako M.J. et Bogaert J., 2010. Etude comparative des paramètres floristiques du Parc National de la Ruvubu, Burundi. *Geo-Eco-Trop.*, 34 : 29 – 44.
- Mathieu C. et Pieltain, 2003. Analyse chimique des sols. Méthodes choisies. Lavoisier. France. 387 p.
- Marco P., Henry M. Blavet D. et Bernoux M. 2010. Variation des stocks de carbone organique du sol après plantation forestière : essai de méta-analyse incluant quelques situations d'Amérique latine. *Bois et forêts des tropiques*. No. 305 (3) : 1-12.
- Mariah S. C. et Susan E. T., 2007. Contribution of new photosynthetic assimilates to respiration by perennial grasses and shrubs: residence times and allocation patterns. *New phytologist*.1-12.
- Mariotti A. et Balesdent J., 1990. $\delta^{13}\text{C}$ natural abundance as a tracer of soil organic matter turnover and paleoenvironment dynamics. *Chemical Geology*, 84: 317-319.
- Marti K., 1994. Concepts «haut-marais», «bas-marais», «site marecageux». Conservation des marais en Suisse. 123 p.
- Marzougui A. et Ben Mammou A., 2006. Le barrage de l'Oued Sejnane : quantification de l'alluvionnement et évaluation de l'érosion spécifique de son bassin versant. *Geo-Eco-Trop.* 30.2:57-68.
- Mbarga Bindzi M. A., 1992. Processus de reconstitution de la forêt dense mésophile guinéenne : cas du secteur forestier de la région de Yaoundé (Cameroun). Thèse, Université de Paris Sud. 169 p.
- Mbarga Bindzi M. A., Amougou A. et Biyé E. H., 2003. Strates-clés dans une jeune forêt secondaire humide du Cameroun. *Ann. de Fac.des Sc. Univ. De Yaoundé I. Sc. de la nat.et de la vie*, vol. 35 (2) : 41-49.
- Mbarga Bindzi M.A, Kono L.D., Angoni H., Biyé H.E., Endanga G.H.D., 2013. Diversité et écologie des *Cyperaceae* rudérales de la ville de Yaoundé et ses environs.

Cameroon Journal of Biological and Biochemical Sciences, 21 (3), xx-xx. (in press)

- Meenakshi K., Mohren G. M. J. et Dadhwal V. K., 2010. Carbon storage and sequestration potential of select tree species in India. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change* 15: 489-510.
- Meybeck M., 1993. Riverine transport of atmospheric carbon: sources, global typology and budget. *Water, Air and Soil Pollution* 70, 443-463.
- Min Ngo K., Turner B. L., Muller-Landau H.C., Davies S.J., Larjavaara M., Hassan N.F.B.N. et Lum S., 2013. Carbon stocks in primary and secondary tropical forests in Singapore. *Forest Ecology and Management* 296, 81–89.
- Mitsch W.J. et Gosselink J.G., 1993. *Wetlands*. Second edition. Van Nostrand Reinhold Compagny, New York 539 p.
- Mnaya B., Asaeda T., Kiwango Y. et Ayubu E., 2007. Primary production in *Papyrus* (*Cyperus papyrus* L.) of Rubondo Island, Lake Victoria, Tanzania. *Wetlands Ecology Management* 25: 846–849.
- Monod T., 1957. Les grandes divisions chorologiques de l’Afrique, *CSA / CCTA, Londres* 24: 1-147.
- Moreno E. C., Guerrero P. A., Gutiérrez Castorena M., Ortiz Solorio C. A. et Palma López D. J., 2002. Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. *Artículo de investigación. Madera y Bosques Número especial*: 115-128.
- Morrison, E.H.J., Harper, D.M., 2009. Ecohydrological principles to underpin the restoration of *Cyperus papyrus* at Lake Naivasha, Kenya. *Ecohydrology and Hydrobiology* 9 (1), 83-97.
- Musyimi D. M., 2011. The role of wetlands in the changing ecophysiology and distribution of plant species: a comprehensive review. *Agric. Biol. J. N. Am.*, 2 (2): 350-357.
- Muthuri F. M., 1985. The primary production of *Papyrus* (*Cyperus papyrus*) in relation to environmental variable. PhD Thesis, University of Nairobi, Kenya. 211 p.
- Muthuri F. M., Jones M. B., Imbamba S.K., 1989. Primary productivity of *Papyrus* (*Cyperus papyrus*) in a tropical swamp: Lake Naivasha, Kenya, *Biomass*, 18: 1-14.
- Muthuri F. M. et Jones M. B., 1996. Canopy structure and microclimate of *Papyrus* (*Cyperus papyrus*) swamps. *J. Ecol.*, 73: 481-491.
- Muthuri F. M. et Jones M. B., 1997. Nutrient distribution in a papyrus swamp: Lake Navaisha, Kenya. *Aquatic Botany* 56: 35-50.
- Muthuri F. M. et Kinyamario J. I., 1989. Nutritive value of *Cyperus papyrus* (*Cyperaceae*), a tropical emergent macrophyte. *Economy Botany* 43 (1), 23-30.

- Njike Ngaha 1984. Contribution à l'étude géologique, stratigraphique et structurale de la bordure du bassin atlantique du Cameroun. Th. Doc. 3^e Cycle, Univ. Yaoundé I, 131p.
- Njiké M., 2011. Typologie des phytocénoses des milieux marécageux de la ville de Yaoundé et ses environs. Mémoire de DEA, Université de Yaoundé I. 106 p.
- Ndam Ngoupayou J.R., Boeglin J.L., Probst J. L., Braun J.J., Meybeck M. et Nkoue Ndongo G.R., 2005. The organic carbon dynamics of a small catchment in the humid tropics. In *Sediment Budgets 1. IAHS Publ.* 291, 46-53.
- Ndongo Din, 2001. Mangroves du Cameroun : statut écologique et perspectives de gestion durable. Thèse D'Etat, Université de Yaoundé I, 268 p.
- Ngok Banak L., 2005. Diversité végétale des inselbergs et des dalles rocheuses du Nord Gabon. Thèse de doctorat. Université Libre de Bruxelles, 420 p.
- Ngon Ngon G.F., 2007. Etude morphologique, Minéralogique, Géochimique et cristallographique des argiles latéritiques et des argiles Hydromorphes de la région de Yaoundé en zone tropicale Humide. Essais industrielles et évaluation de leurs potentialités comme matériaux de constructions. Th. Doc/PH.D. Univ. Yaoundé I. 200 p.
- Niam O., 1994. Structure des communautés benthiques et eutrophisation en milieu corallien. Environnement en milieu tropical. *Actualité scientifique*. 99-110.
- Nguégang A.P., Parrot L., Joiris V. et Lejoly J., 2008. Mise en valeur des bas-fonds à Yaoundé: système de production, savoir-faire traditionnel et potentialités d'une agriculture urbaine et périurbaine en développement. In Parrot L. (ed.), Njoya A. (ed.), Temple L. (ed.), Assogba-Komlan F. (ed.), Kahane R. (ed.), Ba Diao M. (ed.), Havard M. (ed.). *Agricultures et développement urbain en Afrique subsaharienne. Environnement et enjeux sanitaires.* Paris : *L'Harmattan*, 97-108.
- Nkongmeneck B. A., 1979. Etude écologique d'une prairie marécageuse de Biyem-Assi. Mémoire de D.E.S., Univ. de Yaoundé. 74 p.
- Nyssen J., H., Temesgen M. Lemenih A., Zenebe Haregeweyn N. et Haile M. 2008. Spatial and temporal variation of soil organic carbon stocks in a lake retreat area of the Ethiopian Rift Valley. *Geoderma* 146 (1-2): 261-268.
- Nzengy'a D. M et Wishitemi B. E. L., 2001. The performance of constructed wetlands for wastewater treatment: a case study of splash wetland in Nairobi, Kenya. *Hydrol. Process.* 15, 3239-3247.
- Okezie A. et Agyakwa C., 1989. Guide des adventices d'Afrique de l'Ouest. Institut International d'Agriculture Tropicale, Ibadan (Nigeria). 518 p.
- Olivry J. C., 1986. Fleuves et rivières du Cameroun. MESRES/ORSTOM. Paris. 733 p.

- Onana J. M. et Cheeck M., 2011. Red data book of the flowering plants of Cameroun: IUCN Global Assessments. *Kew publishing*. 578 p.
- Onguéné Mala., 1993. Différentiation pédologique dans la région de Yaoundé (Cameroun): transformation d'un sol ferrallitique en sol à horizon jaune et relation avec l'évolution du modelé. Thèse de Doctorat Univ. Paris VI. 253 p.
- Owino A. R., 2007. Recent papyrus swamp habitat loss and conservation implication in Western Kenya. *Wetland Ecology and Management* 15 (1), 1-12.
- Pan Y., 2011. A large and persistent carbon sink in the World's forests, *Science* 333, 988-993.
- Paul K. I., Polglase, P. J., Nyakuengama, J. G., Khanna, P. K., 2002. Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management* 168, 241-257.
- Perbangkhem T. et Polprassert C., 2010. Biomass production of *papyrus* (*Cyperus papyrus*) in constructed wetland treating low-strength domestic wastewater. *Bioresource Technology*, 101 (2): 833-835.
- Pesacreta J. G. et Kien T. L., 1988. Feasibility of relating phenology and carbohydrate partitioning to improve aquatic plant control. *Environmental Laboratory*. Washington. 30 p.
- Philippeau G., 1986. Comment interpréter les résultats d'une analyse en composante principale ? Institut Technique des Céréales et des fourrages. Paris. 61 p.
- Post W. M., Emmanuel W. R., Zinke P. J. et Stangenberger, A. G., 1982. Soil carbon pools and World life zones. *Nature* (London), 298, 156-159.
- Post W. M., Known K. C., 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology* 6, 317-328.
- Prakash S. et Lodhiyal L. S., 2009. Biomass and Carbon Allocation in 8-year-old Poplar (*Populus deltoides* Marsh) Plantation in Tar Agroforestry Systems of Central Himalaya, India. *New York Science Journal*, 2(6), 49-53.
- Priso R. J., 1994. Contribution à l'identification des indicateurs écologiques de pollution dans les régions de Yaoundé et Douala. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle. Univ. de Yaoundé I. 180 p.
- Probst J.L. et Ludwig W., 2003. River inputs of organic carbon into the global ocean: controlling factors. In : Recent Trends in Hydrogeochemistry, AL. RAMANATHAN and R. RAMESH Eds., *Capital Publishing Company*, New Dehli, 3-10.
- Puig H., 2001. La forêt tropicale humide. Utilisation et transformation de la forêt. Belin. 447 p.

- Puig H. et Prévost M. F., 1986. « Rythme d'accroissement diamétral de quelques arbres guyanais de forêt primaire et secondaire », *Mémoire du Muséum Nat. Hist. C. R. Entretiens du Muséum, série A*, tome 132. 159-172.
- Pugliese P. L., 1992. Recherches sur les carences en oligo-éléments affectant le cheptel domestique ruminant dans la Rift Valley éthiopienne et les régions afro-montagnardes limitrophes. Influences de quelques facteurs de l'environnement. Thèse. Université de Paris XII. 259 p.
- Radoux M., 1977. Contribution à l'étude de la productivité, de la structure et de fonctionnement de roselières des districts Mosan et Lorrain. Thèse Doctorat, Fondation Universitaire Luxembourgeoise, Arlon, Belgique, 474 p.
- Ramade F., 1994. Éléments d'écologie. Écologie fondamentale 2. Ediscience international, Paris. 579 p.
- Raunkiaer C., 1934. *The life forms of plants and statistical plant geography*. Clarendon press. Oxford. 632 p.
- Raven P. H., Berg L. R. et Hassenzahl D. M., 2009. Environnement. Les principaux écosystèmes du monde. Paris. 687 p.
- Razafimbelo T. Barthes B. De Luca E. F. Larré-Larrouy M. C. Laurent J. Y. Cerri C. C. et Feller C., 2003. Effet du paillis des résidus de canne à sucre sur la séquestration de carbone dans un sol ferrallitique argileux du Brésil. *Etude et Gestion des Sols*. 10. 191-200.
- Rist S. et Dahdouh-Guebas F., 2006. Ethnoscience-A step towards the integration of scientific and indigenous forms of knowledge in the management of natural resources for the future. *Environment, Development and Sustainability* 8 (4), 467-493.
- Robert M. et Saugier B., 2003. Contribution des écosystèmes continentaux à la séquestration du carbone. C. R. *Geoscience* 335, 577-595.
- Rocha A. V. et Goulden M. L., 2009. Why is marsh productivity so high? New insights from eddy covariance and biomass measurements in *Typha* marsh. *Agricultural and forest meteorology* 149; 159-168.
- Rollet B., 1974. « *L'architecture des forêts denses humides sempervirentes de plaine* ». Nogent sur Marne, CTFT, 280 p.
- Roscoe R., Buurman P., Velthorst E. J. et Vasconcellos C. A., 2001. Soil organic matter dynamics in density and particle size fractions as revealed by ¹³C/¹²C isotopic ratio in a cerrado's oxisol. *Geoderma* 104, 185-202.
- Rowan F. S., Meiron Li et Russel K. M., 1999. The taxonomic distribution of C₄ photosynthesis. *C₄ plant biology*, vol. 16: 551-581.

- Ruellan A., 1995. Dégradation et gestion des sols. Environnement en milieu tropical. 29-37.
- Sabatier D. et Puig H., 1986. « Phénologie et saisonnalité de la floraison et de la fructification en forêt dense guyanaise », *Mémoire du Muséum National d'Histoire Naturelle, Série A, Zoologie*, 132. 173-184.
- Saunders M. J., Jones M. B. et Kansime F., 2007. Carbon and water cycles in tropical *papyrus* wetlands. *Wetlands Ecol. Manage*, 15: 489–498.
- Schimel D.S., House J.X., Hibbard K.A., Bousquet P., Ciais P., Peylin P., Braswell B.H., Apps M.J., Baker D., Bondeau A., Canadell J., Churkina G., Cramer W., Denning, A.S., Field, C.B., Friedlingstein P., Goodale C., Heiman, M., Houghton Schlessinger W.H., 2001. Evidence from chronosequence studies for a low carbon-storage potential of soils. *Nature* 348, 232-234.
- Schlesinger W. H. et Melack J. M., 1981. Transport of organic carbon in the world's rivers. *Tellus* 33, 172-187.
- Schlesinger W. H., 1984. Soil organic matter: a source of atmospheric CO₂. In: The role of terrestrial vegetation the global carbon cycle: measurement by remote sensing. G. M. Moodwell (Ed.), John Wiley and Sons, Londres, 11-127.
- Schlesinger W. H., 1991. Biogeochemistry and analysis of global change. Academic press Inc. New York. 443 p.
- Schnell R., 1967. Problèmes biogéographiques comparés de l'Hylea amazonienne et de la forêt dense tropicale d'Afrique. *Atlas do simpósio a biota Amazônica*, Vol. 4 (*Botânica*): 229-239.
- Schnell R., 1970. Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux. Les problèmes généraux. Vol. I. Les flores et structures. Gauthier-Villars eds. Paris, 499 p.
- Schnell R., 1971. *Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux. Les milieux, les groupements végétaux*. Gauthier – Villars, Paris 6^{ème}, 2 : 450-457.
- Schnell R., 1976.- Introduction à la phytosociologie des pays tropicaux. Vol. II. La flore et la végétation de l'Afrique tropicale. Gautier-Villars, Paris, 459 p.
- Schnell R., 1977.- Flore et végétation de l'Afrique Tropicale. Tome 2. Gauthier-Villars, Bordas, Paris, 375 p.
- Schwartz D., Mariotti A., Trouve C., Van Den Borg K. et Guillet, B., 1992. Etude des profils isotopiques 13C et 14C d'un sol hydromorphe du littoral congolais: implications sur la dynamique de la matière organique et l'histoire de la végétation. *C. R. Ac. Sci. Paris*, 315 (II), 1411 – 1417.
- Schwartz, D., Namri, M., 2002. Mapping the total organic carbon in the soils of Congo. *Global and Planetary Change* 33, 77-93.

- Suchel J. B., 1987. Les climats du Cameroun. Thèse d'état. Université de Bordeaux III, 2 tomes, 1186 p.
- Senterre B., 2005. Recherches méthodologiques pour la typologie de la végétation et la phytogéographie des forêts denses d'Afrique tropicales. Thèse de doctorat. Université Libre de Bruxelles. 349 p.
- Sharma P. Rai S. C., 2007. Carbon sequestration with land-usecover change in a Himalayan watershed. *Geoderma* 139: 371–378
- Sierra C. A, Del Valle J. I., Orrego S. A, Moreno F. H., Harmon M. E., Zapata M., Colorado G. J., Herrera M. A., Lara W., Restrepo D. E., Berrouet L. M., Loaiza L. M., Benjumea J. F., 2007. Total carbon stocks in a tropical forest landscape of the Porcè region, Colombia. *For Ecol Manage* 243:299–309.
- Sigha-Nkamdjou L., Carre P., Olivry J. C. et Seyler P., 1997. Hydrogéochimie du bassin forestier équatorial Dja-Ngoko, Cameroun. Hydrogeochemistry (Proceedings of the Rabat Symposium, Avril 1997). *IAHS Publ.* 244, 291-298.
- Simpson, D.A., Inglis, C.A., 2001. *Cyperaceae* of economic, ethnobotanical and horticultural importance : a checklist. *Kew Bulletin* 56, 257-360.
- Sims P.L., Singh J.S., Lauenroth W. K., 1978. The structure and function of the western north American grasslands. I. Abiotic and vegetational characteristics. *Journal of Ecology* 66: 251–285.
- Singh S. K., Singh A.K., Sharma B. K., et Tarafdar J. C. 2007. Carbon stock and organic carbon dynamics in soils of Rajasthan, India. *Journal of Arid Environments* 68: 408 - 421.
- Sonko I., 1998. Dégradation des populations de bambou (*Oxytenanthera abyssinica* A. Rich. Munro) de la Région de Kolda (Sud du Sénégal). *AAU Reports* 39 : 225-233.
- Sonwa D. J., 1992. Essais d'épuration des eaux usées de l'Université de Yaoundé par *Cyperus papyrus* L., *Lemna paucicostata* H. et *Wolffia arrhiza* L. Mémoire de maîtrise. Univ. de Yaoundé. 56 p.
- Sonwa D. J., 2004 Biomass management and diversification within cocoa agroforest in the humid forest zone of southern Cameroon.
- Soudani K., Trautman J. et Walter J.M.N. 2002. Leaf area index and canopy stratification in scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands. *International journal of Remote Sensing*, 23 (18), 3605-3618.
- Taita T., Muthama Muasya A., Dahdouh-Guebas F., Ndiritu G. G. et Triest L., 2012. Integrating local ecological knowledge and management practices of an isolated semi-arid *papyrus* swamp (Loboi, Kenya) into a wider conservation framework. *Journal of Environmental Management* 93. 71-84

- Terer T., Ndiritu, G. G. et Gichuki, N. N., 2004. Socio-economic values and traditional strategies of managing wetlands resources in Lower Tana River, Kenya. *Hydrobiologia* 527, 3-14.
- Thompson K., 1976. Swamp development in the headwaters of the white Nile. In J. Rzoska (Editor), *the Nile, biology of an Ancient River*. W. Junk, the Hague. 177-196.
- Tixer P., 1973. Contribution à l'étude de la biologie des Diptérocarpacées : phénologie et germination du koki (*Hopea odorata*) à Dongkoi (Kondell). *Bois et forêt des tropiques* 148, 46-57.
- Toggweiler J.R., 1989. Is the downward dissolved organic matter (DOM) flux important in carbon transport? *Life Sciences Research Report* 44, 65-83.
- Traoré M., 2000. Etude de la phénologie, de la régénération naturelle, et des usages de *Piliostigma reticulatum* (de.) hochst. en zone nord soudanienne du Burkina Faso. Mémoire de fin d'étude. Université polytechnique de Bobo Dioulasso. 95 p.
- Trochain J. L., 1980. Ecologie végétale de la zone intertropicale non désertique. Toulouse; Université de Toulouse 3; 468 p.
- Tsama Njitat V., 2006. Condition d'acclimatement d'*Echinichloa pyramidalis* (Lam.) et de *Cyperus papyrus* L. pour le traitement des boues de vidange. Mém. de DEA. Univ. de Yaoundé I. 42 p.
- Turner, J., Lambert, M., 1999. Change in organic carbon in forest plantation soils in Eastern Australia. *Forest Ecology and Management* 133, 231-247.
- UNESCO., 1973. *International classification and mapping of vegetation*. Paris; UNESCO
- Valiela I., 1995. *Marine ecological processes*. Second edition. Springer Verlag. New York, USA. 546 p.
- Vallerie, 1995. La pédologie .In : *Atlas régional sud Cameroun. Min. REST /INC*. Santoir C. et Bobda A. (eds). Paris .50-53.
- Volkoff B., Faure P., Dubroeuq D. et Viennot M., 1999. Estimation des stocks de carbone du Bénin. *Etude et gestion des sol* 6, 2, 115-130.
- Walters B. B., Rönnbäck, P., Kovacs, J. M., Crona, B., Hussein, S.A., Badola, R., Primavera, J. H., Barbier, E. et Dahdouh-Guebas, F., 2008. Ethnobiology, socio-economics and management of mangroves forests: a review. *Journal of Aquatic Botany* 89, 220-236.
- Wang S. Q., Zhou C. H., Luo C. W.; 1999. Studying carbon storage spatial distribution of terrestrial natural vegetation in China. *Prog Geogr* 18:238-244.

- Wasseige C., De Marcken P., Bayol N., Hiol Hiol F., Mayaux Ph., Desclée B., Nasi R., Billand A., Defourny P. et Eba'a Atyi R., 2012. Les forêts du bassin du Congo. Etat des forêts 2010. Luxembourg. 274 p.
- Wieder R. K. et Lang G. E., 1983. Net primary production of the dominant bryophytes in a *Sphagnum*-dominated wetland in West Virginia. *The Bryologist* 86:280-286.
- Wilcox D.A., 2004. Implications of hydrologic variability on the succession of plants in Great Lakes wetlands. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 7 (2): 223–231.
- Weltzin J. F., Pastor J., Harth C., Bridgman S. D., Updegraff K., et Chapin C. T., 2000. Response of bog and fen plant communities to warming and water-table manipulations. *Ecology* 81 : 3464-3478.
- Weltzin J.F., Bridgman S. D., Pastor J. Chen, et Harth C., 2003. Potential effects of warming and drying on peatland plant community composition. *Global Change Biology* 9: 141-151.
- White F., 1979. The Guineo-Congolian Region and its relationship to other phytochoria. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, 49 (1/2): 11-55.
- White F., 1983. The vegetation of Africa: a descriptive memoir to accompany the Unesco/AETFAT/UNSO vegetation map of Africa. Natural Resources Research XX. Unesco, Paris. 356 p.
- White F., 1986. La végétation de l'Afrique. Mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique. UNESCO/AETFAT/UNSO, ORSTOM-UNESCO. 384 p.
- White L. J. T., 1992. Vegetation history and logging disturbance: effects of rain forest mammals unlope reserve in Gabon. Theses, University of Edingburgh. 250 p.
- Ximenès M. C., Fouque C., Barnaud G. 2007. État 2000 et évolution 1990-2000 des zones humides d'importance majeure, Document technique IFEN-ONCFS-MNHN-FNC, 136 p. + annexes.
- Yalibanda Y., 1998. *Phénologie en forêt dense de Ngotto (R.C.A) : bilan de trois années d'observation*. Bangui Centre de Recherche de Boukoko. Institut Centrafricain de Recherche Agronomique. 24 p.
- Yongue F. R., 1986. Contribution à l'étude pétrologique de l'altération et des faciès de cuirassement ferrugineux des gneiss migmatiques de Yaoundé. Thèse de Doctorat 3^{ème} cycle Univ. de Yaoundé. 214 p.
- Yoro G. et Godo G., 1990. Les méthodes de mesure de la densité apparente. Analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XXV, n 4:423-429.

- Zapfack L., 2005. Impact de l'agriculture itinérante sur brûlis sur la biodiversité végétale et la séquestration du carbone. Doctorat d'Etat. Univ. de Yaoundé I. 225 p.
- Zapfack L., Noiha, Noumi, V., Dziedjou, Kwouossu, P. J., Zemagho, L. et Fomete Nembot T., 2013. Deforestation and Carbon Stocks in the Surroundings of Lobéké National Park (Cameroon) in the Congo Basin. *Environment and Natural Resources Research*; Vol. 3, No. 2; 78-86.
- Zhong L. et Qiguo Z., 2001. Organic carbon content and distribution in soils under different land uses in tropical and subtropical China. *Plant Soil*, 231, 175–185.

ANNEXES

Annexes 1. Liste taxonomique des placettes faiblement recouvertes par *C. papyrus* dans les marécages de Yaoundé. TP : type phytogéographique ; TB : type biologique ; TD : type de diaspore ; TF : type foliaire.

N°	Familles	Espèces	TP	TB	TD	TF	Nombre d'individus
1	<i>Araceae</i>	<i>Anchomanes difformis</i> (Blume) Engl.	G	Go tu	Sarco	Macro	32
2	<i>Araceae</i>	<i>Lasiomorpha senegalensis</i> (Schott) Engl.	G	Go tu	Sarco	Macro	26
3	<i>Balsaminaceae</i>	<i>Impatiens irvingii</i> Hook.f.	A T	Ch d	Ball	Micro	110
4	<i>Balsaminaceae</i>	<i>Impatiens niamniamensis</i> Gilg.	G	Ch d	Ball	Micro	23
5	<i>Begoniaceae</i>	<i>Begonia macrocarpa</i> Warb.	CG	Ch d	Sarco	Micro	12
6	<i>Burmanniaceae</i>	<i>Burmannia madagascariensis</i> Mart. & Zucc.	Pan	Th d	Scléro	Micro	21
7	<i>Commelinaceae</i>	<i>Aneilema beniniense</i> (P.Beauv.) Kunth	G	Th p	Scléro	Micro	94
8	<i>Commelinaceae</i>	<i>Aneilema umbrosum</i> (vahl) Kunth	G	Th p	Scléro	Micro	14
9	<i>Commelinaceae</i>	<i>Commelina africana</i> L.	G	Th p	Scléro	Micro	26
10	<i>Commelinaceae</i>	<i>Commelina capitata</i> Benth.	G	Th p	Scléro	Micro	34
11	<i>Commelinaceae</i>	<i>Commelina diffusa</i> Burm.f.	Pan	Th r	Scléro	Micro	27
12	<i>Commelinaceae</i>	<i>Palisota ambigua</i> (P.Beauv.) C.B.Clarke	B G	Ch d	Scléro	Méso	16
13	<i>Commelinaceae</i>	<i>Palisota hirsuta</i> (Thunb.) K.Schum.	CG	Ch d	Scléro	Méso	22
14	<i>Convolvulaceae</i>	<i>Ipomoea batatas</i> Jacq.	Pan	Ph h g v	Pléo	Méso	117
15	<i>Costaceae</i>	<i>Costus afer</i> Ker Gawl.	BG	Go rh	Sarco	Méso	18
16	<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Momordica cissoides</i> Schumach.	AT	Th g vr	Sarco	Micro	16
17	<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Momordica foetida</i> Schumach.	AT	Th g vr	Sarco	Micro	31
18	<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Zehneria capillacea</i> (Schumach.) Jeffrey	AT	Th g vr	Sarco	Micro	82
19	<i>Cyperaceae</i>	<i>Cyperus distans</i> L.f	Pan	Hc ce	Scléro	Micro	21
20	<i>Cyperaceae</i>	<i>Cyperus haspan</i> L.	Pal	Go rh	Scléro	Lepto	9
21	<i>Cyperaceae</i>	<i>Cyperus papyrus</i> L.	Cos	Go rh	Scléro	Micro	1899

22	<i>Cyperaceae</i>	<i>Fuirena umbellata</i> Rottb.	Pan	Hc ce	Scléro	Micro	14
23	<i>Cyperaceae</i>	<i>Kyllinga pumila</i> Michaux	AnT	Go rh	Scléro	Nano	92
24	<i>Cyperaceae</i>	<i>Pycnus lanceolatus</i> (Poir.) C.B.Clarke	AM	Go rh	Scléro	Micro	14
25	<i>Cyperaceae</i>	<i>Rhynchospora corymbosa</i> (L.) Britt	Pan	Go rh	Scléro	Méso	16
26	<i>Cyperaceae</i>	<i>Scleria verrucosa</i> Wild.	BG	Hc ce	Scléro	Méso	4
27	<i>Dioscoreaceae</i>	<i>Dioscorea bulbifera</i> L.	Pan	Go tu	Ptéro	Méso	13
28	<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Alchornea cordifolia</i> (Schumach. & Thonn.)	AT	Mc Ph	Sarco	Méso	12
29	<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Euphorbia heterophylla</i> (Haw.) Croizat	Pan	Th d	Sarco	Micro	46
30	<i>Loganiaceae</i>	<i>Anthocleista schweinfurthii</i> Gilg	AM	Ms Ph	Sarco	Macro	8
31	<i>Tiliaceae</i>	<i>Triumfetta cordifolia</i> A.Rich	AT	Nn Ph	Sarco	Méso	23
32	<i>Melastomataceae</i>	<i>Melastomastrum capitatum</i> (Vahl) A.Fern. & R.Fern.	BG	Nn Ph	Scléro	Méso	132
33	<i>Poaceae</i>	<i>Acroceras zizanioides</i> (Kunth) Dandy	Pan	Ch p	Scléro	Micro	231

Annexes 2. Liste taxonomique des placettes moyennement recouvertes par *C. papyrus* dans les marécages de Yaoundé. TP : type phytogéographique ; TB : type biologique ; TD : type de diaspore ; TF : type foliaire.

	Familles	Espèces	TP	TB	TD	TF	Nombre d'individus
1	<i>Commelinaceae</i>	<i>Commelina capitata</i> Benth.	G	Th p	Scléro	Micro	53
2	<i>Commelinaceae</i>	<i>Commelina diffusa</i> Burm.f.	Pan	Th r	Scléro	Micro	74
3	<i>Commelinaceae</i>	<i>Palisota ambigua</i> (P.Beauv.) C.B.Clarke	B G	Ch d	Scléro	Méso	17
4	<i>Commelinaceae</i>	<i>Palisota hirsuta</i> (Thunb.) K.Schum.	CG	Ch d	Scléro	Méso	14
5	<i>Convolvulaceae</i>	<i>Ipomoea mauritiana</i> Jacq.	Pan	Ph h g v	Pléo	Méso	56
6	<i>Costaceae</i>	<i>Costus afer</i> Ker Gawl.	BG	Go rh	Sarco	Méso	12
7	<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Momordica cissoides</i> Schumach.	AT	Th g vr	Sarco	Micro	37
8	<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Momordica foetida</i> Schumach.	AT	Th g vr	Sarco	Micro	8
9	<i>Cucurbitaceae</i>	<i>Zehneria capillacea</i> (Schumach.) Jeffrey	AT	Th g vr	Sarco	Micro	36
10	<i>Cyperaceae</i>	<i>Cyperus distans</i> L.f	Pan	Hc ce	Scléro	Micro	19
11	<i>Cyperaceae</i>	<i>Cyperus haspan</i> L.	Pal	Go rh	Scléro	Lepto	26
12	<i>Cyperaceae</i>	<i>Cyperus papyrus</i> L.	Cos	Go rh	Scléro	Micro	4070
13	<i>Cyperaceae</i>	<i>Fuirena umbellata</i> Rottb.	Pan	Hc ce	Scléro	Micro	25
14	<i>Nephrolepidaceae</i>	<i>Nephrolepis biserrata</i> Schott.	Pan	Go rh	Scléro	Macro	121
15	<i>Poaceae</i>	<i>Echinochloa pyramidalis</i> (L.) Gaertn.	Pan	Go rh	Scléro	Méso	212
16	<i>Poaceae</i>	<i>Panicum brevifolium</i> L.	Pal	Th ce	Scléro	Méso	12
17	<i>Rubiaceae</i>	<i>Hallea stipulosa</i> (K.Krause) Verdc.	G	Mg Ph	Sarco	Macro	5
18	<i>Selaginellaceae</i>	<i>Selaginella myosurus</i> (Sw.) Alst.	G	Ch p	Scléro	Macro	46
19	<i>Zingiberaceae</i>	<i>Aframomum longiligulatum</i> Koechlin	BG	Go rh	Sarco	Méso	25

Annexe 3. Liste taxonomique des placettes entièrement recouvertes par *C. papyrus* dans les marécages de Yaoundé. TP : type phytogéographique ; TB : type biologique ; TD : type de diaspore ; TF : type foliaire.

N°	Familles	Espèces	TP	TB	TD	TF	Nombre d'individus
1	<i>Apocynaceae</i>	<i>Rauwolfia vomitoria</i> Afzel.	G	Mc Ph	Sarco	Méso	6
2	<i>Dioscoreaceae</i>	<i>Dioscorea preussii</i> Pax	BG	Go tu	Ptéro	Méso	37
3	<i>Cyperaceae</i>	<i>Cyperus papyrus</i> L.	Cos	Go rh	Scléro	Micro	8255
4	<i>Onagraceae</i>	<i>Ludwigia abyssinica</i> A. Rich.	AM	Th d	Scléro	Micro	4
5	<i>Onagraceae</i>	<i>Ludwigia africana</i> (Brenan) Hara	AM	Th d	Scléro	Micro	28

Annexe 4. Fiche du suivi de la phénologie de la floraison de *C. papyrus*

Date :

Nom du site :

Saison climatique :

BOR : bordures ; ZPH : zones en permanence humides ; ind : individus

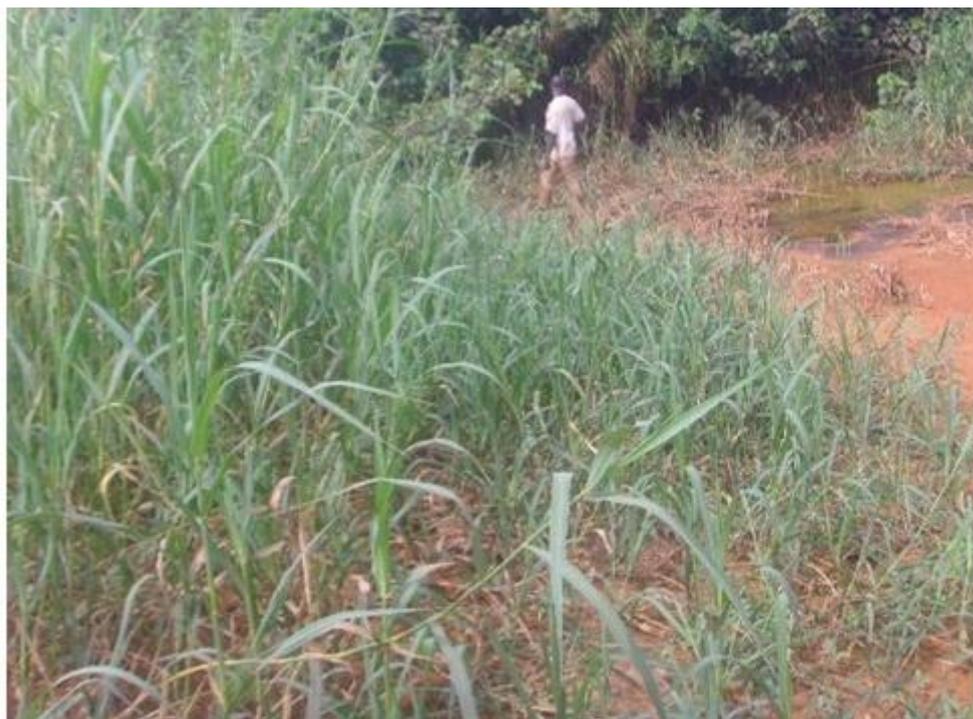
	N° ind .	Diamètre de la tige	Nombre d'individus	Intensité de la floraison
BOR.				
ZPH.				

Annexe 5. Vue générale de quelques sites d'étude de Yaoundé.

Annexe 5. 1. Marécages à *C. papyrus* (*Cyperaceae*) : site de l'Etang de la Retenue 1.



Annexe 5. 2. Marécages à *Echinochloa pyramidalis* (*Poaceae*) : site de Coron.



Annexe 5.3. Marécages à *Cyrtosperma senegalense* (Araceae) et *Rhynchospora corymbosa* (Cyperaceae) : site d'Odza borne 10.



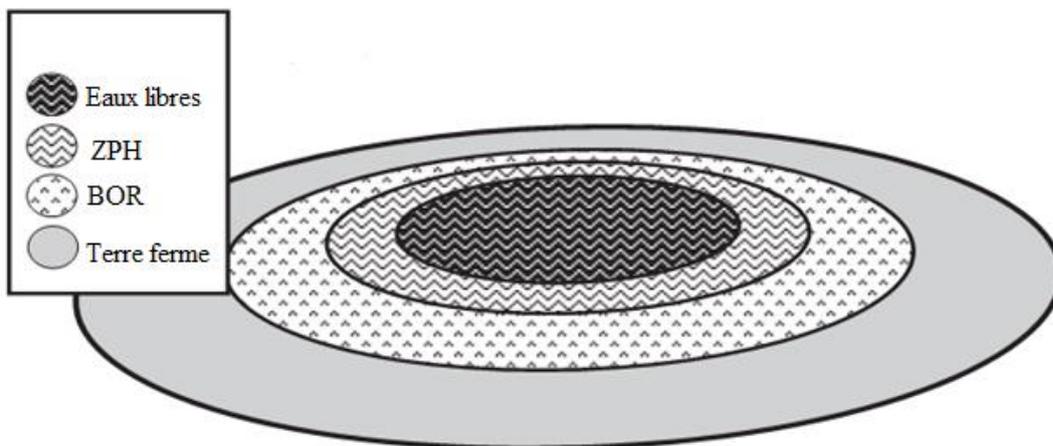
Annexe 5.4. Peuplements à *Rhynchospora corymbosa* (Cyperaceae) (A) et à *Cyrtosperma senegalense* (Araceae) (B) : site de Messa-Assi (A) ; site de Nkolnkié (B).



Annexe 5.5. Densité apparente sèche moyenne des types de marécages de la ville de Yaoundé et ses environs.

Profondeurs	0 – 30 cm	30 – 60 cm
Marécages à <i>C. papyrus</i>		
Bordures	1,68	1,75
Zones en permanence humides	1,87	1,84
Marécages à <i>E. pyramidalis</i>		
Bordures	1,78	1,63
Zones en permanence humides	1,75	1,77
Marécages à <i>C. senegalense</i> et à <i>R. corymbosa</i>		
Bordures	1,88	1,84
Zones en permanence humides	1,87	1,75

Annexe 6 : Emplacements des différents microhabitats dans un marécage. ZPH : zone en permanence humide ; BOR : bordure.



Annexe 7 : Répartition du nombre des placettes et transects entre les différents sites.

Sites		Nombre de placettes		Nombre de transects		Longueurs des transects (m)	
ER1	BOR	84		56		28-70	
	ZPH	90					
ER2	BOR	2		3		8-35	
	ZPH	3					
LM	BOR	1		1		7	
	ZPH	1					
MA1	BOR	6		6		12-20	
	ZPH	8					
MA2	BOR	3		5		6-26	
	ZPH	6					
MA3	BOR	2		3		5-17	
	ZPH	4					
MA4	BOR	8		10		8-28	
	ZPH	12					
Total		224		84		5-70	

Annexe 8 : Répartition des échantillons de sol pendant la période d'étude (juillet 2007/juillet 2010).

Années		ER1		ER2		LM		MA1		MA2		MA3		MA4	
		BOR	ZPH												
07/08	PSS	84	90	2	3	1	1	6	8	3	6	2	4	8	12
	GSS	84	90	2	3	1	1	6	8	3	6	2	4	8	12
	PSP	84	90	2	3	1	1	6	8	3	6	2	4	8	12
	GSP	84	90	2	3	1	1	6	8	3	6	2	4	8	12
08/09	PSS	84	90	2	3	1	1	6	8	3	6	2	4	8	12
	GSS	84	90	2	3	1	1	6	8	3	6	2	4	8	12
	PSP	84	90	2	3	1	1	6	8	3	6	2	4	8	12
	GSP	84	90	2	3	1	1	6	8	3	6	2	4	8	12
09/10	PSS	84	90	2	3	1	1	6	8	3	6	2	4	8	12
	GSS	84	90	2	3	1	1	6	8	3	6	2	4	8	12
	PSP	84	90	2	3	1	1	6	8	3	6	2	4	8	12
	GSP	84	90	2	3	1	1	6	8	3	6	2	4	8	12