



REPUBLIQUE DU BURUNDI
Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement
du Territoire et de l'Urbanisme

ISSN 2220-6973 (En imprimé)

**Bulletin scientifique de l'Institut
national pour l'environnement
et la conservation de la nature**

ISSN 2220-6981 (En ligne)



Bulletin Scientifique de l'Institut National pour l'Environnement et la Conservation de la Nature

Bulletin n° 12

Numéro spécial :

Colloque International Sur l'Environnement

**ENVIRONNEMENT, URBANISATION ET RURALITE
DANS LA REGION DES GRANDS LACS D'AFRIQUE:
*QUELS DEFIS? QUELLES SOLUTIONS?***



Bujumbura, Novembre 2013

BULLETIN 12

Bulletin Scientifique de l'Institut National pour l'Environnement et la Conservation de la Nature publié annuellement.

Siège de publication:

Institut National pour l'Environnement et la Conservation de la Nature

Editeur: Centre d'Echange d'Informations en matière de Diversité Biologique, CHM (Clearing House Mechanism)

© INECN-CHM

B.P. 2757 Bujumbura

Tél.: (257)22234304

E-mail: inecn.biodiv@cbinf.com

Site web: <http://bi.chm-cbd.net>

Comité de rédaction

Rédacteur en Chef:

NZIGIDAMERA Benoît,
INECN

Rédacteurs associés:

HABONIMANA Bernadette,
Université du Burundi, Faculté des Sciences Agronomiques

FOFO Alphonse
(INECN)

Comité scientifique:

1. **BANDUSHUBWENGE Denis**, Université du Burundi, Institut Supérieur d'Agriculture
2. **BANGIRINAMA Frédéric**, Ecole Normale Supérieure du Burundi
3. **BIGAWA Samuel**, Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Biologie
4. **BIGIRIMANA Joseph**, Université du Burundi, Faculté des Sciences Agronomiques
5. **BIZURU Elias**, Université Nationale du Rwanda, Faculté des Sciences, Département de Biologie
6. **BOGAERT Jan**, Université de Liège/ Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Biodiversité et Paysage
7. **GAUGRY Yves**, Flora Fauna & Man Ecological Services Ltd., Afrique du Sud
8. **MPAWENAYO Balthazar**, Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Biologie
9. **NDAYIRAGIJE Pascal**, Institut des Sciences Agronomiques du Burundi, Département des Productions
10. **NTAKIMAZI Gaspard**, Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Biologie
11. **SUSINI Marie-Lucie**, Institut Royal des Sciences Naturelles de Bruxelles, Centre d'Echange d'Information en Biodiversité, CHM-Belge

Dépôt des exemplaires:

Bibliothèque de l'INECN
Bibliothèque du Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme
Bibliothèque Centrale de l'Université du Burundi
Bibliothèque de l'Ecole Normale Supérieure
Département de la Recherche Scientifique du Ministère de l'Education Nationale et de la Culture
Archives Nationales

CONTENU

Préface	<i>IV</i>
Articles publiés	<i>V</i>
Discours	<i>77</i>
Résumés des communications orales	<i>78</i>
Résumés des posters	<i>92</i>
Programme	<i>96</i>
Contributeurs au Colloque	<i>98</i>



ENVIRONNEMENT, URBANISATION ET RURALITE DANS LA REGION DES GRANDS LACS D'AFRIQUE : QUELS DEFIS? QUELLES SOLUTIONS?

Colloque International Sur l'Environnement



8-10 Novembre 2012
Université du Burundi, à Bujumbura



UNIVERSITE DU BURUNDI



PREFACE

Dès sa naissance en 1964, l'Université du Burundi en tant qu'établissement public avait comme mission principale la formation de haute qualité, la promotion de la recherche et de l'innovation scientifique dans tous les domaines de la vie.

Dans ce cadre, la Faculté des Sciences et la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université du Burundi, en collaboration avec les Universités francophones de Belgique sous la houlette de la Commission Universitaire pour le Développement (CUD) de la Communauté Wallonie-Bruxelles, ont initié et appuyé financièrement les programmes de formation de second et de troisième Cycle. Ces formations ont largement contribué à améliorer les connaissances de la biodiversité terrestre et aquatique des pays des Grands Lacs d'une part, et de gestion de la pollution des déchets liquides et solides d'autre part. Par ailleurs, ces programmes ont permis de comprendre les effets conjugués de l'exode rural, de l'expansion urbaine, des politiques d'aménagement et de désenclavement des territoires, urbains et ruraux.

Dans le but de sensibiliser le public, l'Université du Burundi à travers son programme de Master Complémentaire en Sciences de l'Environnement a organisé, en date du 8 au 10 novembre 2012, un Colloque International sur l'Environnement autour du thème « *Environnement, Urbanisation et Ruralité dans la région des Grands Lacs d'Afrique : Quels Défis ? Quelles Solutions ?* ».

Les sujets développés dans ce numéro spécial du Bulletin Scientifique de l'INECN reprennent les communications scientifiques exposées dans ce Colloque. En publiant ce numéro spécial, nous voudrions cependant informer le public et les chercheurs tant nationaux qu'internationaux de se mobiliser pour contribuer à atténuer les risques de l'environnement et prédire leurs effets.

Nous remercions la direction de la recherche et de l'Innovation de l'Université du Burundi, la Commission Universitaire pour le Développement (CUD) à travers son programme de Master Complémentaire en Sciences de l'Environnement, le Centre Canadien de Recherche pour le Développement International (CRDI) et les différentes banques du Burundi pour leurs contributions financières. Celles-ci ont permis d'accueillir et héberger les différents conférenciers venus de l'intérieur du Burundi, de la Belgique et de la République Démocratique du Congo.

Dr Joël Ndayishimiye

Secrétaire du Comité d'organisation



Prof. Théophile Ndikumana

Président du Comité d'organisation



Prof. Vestine Ntakarutimana
Responsable du Master Complémentaire
en Sciences de l'Environnement



ARTICLES PUBLIES

Distribution des habitats de <i>Dialium guineense</i> (willd) (Fabaceae: Caesalpinioideae) dans les phytodistricts Est du Sud-Bénin	
Y. F. Assongba, G.J. Djègo, H. Yédomonhan et B. Sinsin	1-16
Preliminary assessment of fish diversity in Lowa River	
Kisekelwa T., Isumbisho M., Ntakimazi G. & Micha J.-C.	17-24
Impacts des pratiques rizicoles en vigueur au Burundi sur l'environnement	
H. Nusura, R. Sibomana, B. Habonimana, J. Bigirimana	25-36
Microbiological evaluation of water quality from peri-urban watersheds for domestic water Supply Improvement in eastern of Democratic Republic of Congo	
M.B.Theodore Munyuli, J-P Byenda Balegamire & P.Tete	37-42
Pression foncière face à la croissance démographique au Burundi: enjeux et perspectives pour un développement durable en province de Kirundo	
Bonaventure Minani, Philippe Lebailly, Déo-Guide Rurema	43-49
Voies de traitements de déchets solides: Valorisation des matières et énergie	
C. Gisèle JUNG	50-54
Impact des collecteurs d'eaux pluviales sur la baie Nord-Est du lac Tanganyika	
Ndikumana Th., Bizindavyi E., Kisoholo A. et Vasel J.L.	55-60
Analyse des traits biologiques au cours de la dynamique post-culturale: Cas des jachères de la zone périphérique de la Réserve naturelle forestière de Bururi	
Frédéric Bangirinama, Tatien Masharabu & François Havyarimana	61-69
Application d'un modèle simple de la digestion anaérobie incluant la sulfato-réduction au lagunage anaérobie	
Harerimana Casimir, Chéma Keffala, Nineza Claire, Ndikumana Théophile, Jean- Luc Vasel	70-75



Distribution des habitats de *Dialium guineense* (willd) (Fabaceae: Caesalpinioideae) dans les phytodistricts Est du Sud-Bénin

Y. F. Assongba*, G.J. Djègo., B. Sinsin.

Laboratoire d'Ecologie Appliquée / FSA/ UAC; yedjanlognon@yahoo.fr

Reçu: le 11 Avril 2013

Accepté: le 20 Octobre 2013

Publié: le 4 Novembre 2013

RESUME

Mots-clés: Conservation, distribution, écologie, phytosociologie

Dialium guineense (willd) (Leg. Caesalpinioideae) est un PFNL peu étudié et peu valorisé au Bénin. La présente étude effectuée au Sud Bénin, vise à déterminer son écologie et sa distribution géographique en vue de sa conservation durable et sa valorisation. A cet effet, des relevés phytosociologiques et dendrométriques ont été effectués dans les forêts denses semi-décidues et galeries. Ainsi, une matrice constituée de 157 espèces et de 31 relevés, soumise à une analyse canonique des correspondances, a discriminé trois groupements végétaux. Il s'agit des groupements végétaux à: (i) *D. guineense* et *Sida acuta* des champs, jardins de case et jachères; (ii) *D. guineense* et *Berlinia grandiflora* des savanes et (iii) *D. guineense* et *Celtis zenkeri* des forêts denses et galeries. Dans ces groupements, la richesse spécifique est relativement élevée ($3,8 < H < 4,2$ bits) et les espèces sont plus ou moins équiréparties ($0,66 < E < 0,7$). La densité des populations de *D. guineense* a varié (5 à 97) pieds/ha. Le volume du houppier des arbres de *D. guineense* a varié (57,65 à 187,59 m³). Le nombre de branches par arbre a crû de 5,20 à 15,33. La distribution en classe de diamètre des arbres a montré une structure en J renversé dans les trois groupements végétaux. Il en ressort que *D. guineense* est plus conservé dans les forêts peu menacées ou protégées que dans les terroirs cultivés et post culturales. Inscrire l'introduction de *D. guineense* dans les programmes de reboisement et la protection de ses habitats potentiels au plan national comme priorités par l'administration forestière serait un atout pour une meilleure conservation de cet important PFNL.

ABSTRACT

Key-words: Conservation, distribution, ecology, phytosociology

In Benin, few studies were done on *Dialium guineense* (willd) (Leg. Caesalpinioideae), a NTFP. This study has been carried out in Southern Benin. It permitted to make a determining ecology and spatial distribution of *D. guineense* for its durable conservation and valorization. To this end, phytosociological relevés and dbh measures were taken in riparian forests and moist semi-deciduous forests. So, a matrix made up of 157 species and 31 relevés, submitted to a Canonical Correspondence Analysis, discriminated 3 plant communities. It is about plant communities of: (i) *D. guineense* and *Sida acuta* of the fields, botanical gardens and fallows; (ii) *D. guineense* and *Berlinia grandiflora* of savannas and (iii) *D. guineense* and *Celtis zenkeri* of moist semi-deciduous forests and riparian forests. In these plant communities, the specific richness is relatively high ($3,8 < H < 4,2$ bits) and the species are more or less équiréparties ($0,66 < E < 0,7$). The density of *D. guineense* populations has varied (5 - 97) feet/ha. The volume of the houppier of the trees of *D. guineense* has varied (57,65 - 187,59 m³). The number of branches per tree grew from 5, 20 to 15, 33. The distribution in class of diameter of the trees showed a reversed J structure in the 3 plant communities. This reveals that *D. guineense* is more preserved in the little threatened or protected forests than the fields and fallows. The introduction of *D. guineense* into the programs of afforestation and the protection of its potential habitats at the national level must be registered by the forest administration like priorities for a better conservation of this significant NTFP.



1. INTRODUCTION

Les plantes et les animaux procurés par les forêts et plantations fournissent des services écologiques et socioéconomiques importantes à l'échelle locale et planétaire aux populations pour diverses utilisations: alimentation, l'énergie domestique, la médecine traditionnelle, la construction, ustensiles et outils agricoles (Djègo, 2006; Belem *et al.*, 2007; Mamo *et al.*, 2007; Shackleton *et al.* 2007; Taïta 2003). Les forêts constituent un réservoir de ressources aptes à satisfaire les besoins les plus élémentaires de l'humanité qui se dénote par l'exploitation des Produits Forestiers Non Ligneux (PFNL) qu'abritent les écosystèmes africains (Sina, 2006; Tchatat et Ndoye, 2006). Selon FAO (2004) les PFNLs sont tout matériel d'origine biologique, autre que le bois, provenant des forêts. Plus spécifiquement, les PFNLs regroupent l'ensemble des produits forestiers autres que la matière ligneuse traditionnellement utilisée dans l'industrie de la transformation pour le bois d'œuvre ou le bois de pâte (troncs). Ils revêtent en effet une importance en terme de contribution aux besoins pour le bien être des populations (Cavendish 2000; Mahapatra *et al.*, 2005). L'exploitation des PFNLs est apparue comme une alternative viable à l'exploitation du bois pour accroître les revenus des populations mais ayant un impact de réduction de la structure et la gestion des forêts (Nakazono *et al.* 2004; Rodriguez-Buriticà *et al.*, 2005).

FAO (2011) évalue la perte annuelle des forêts mondiales à 13 millions d'hectares au cours de la dernière décennie. Le Bénin, n'étant pas un grand pays forestier (2.351.000 hectares de forêts), perd en moyenne 50 milles hectares de forêts par an (FAO, 2009). Ceci est dû essentiellement à l'extension de l'agriculture, l'exploitation anarchique des ressources et le surpâturage. Aussi, l'exploitation abusive des PFNLs serait l'usage le plus bénigne des forêts tropicales sur le plan écologique (Wadt *et al.*, 2005). Bien qu'il y ait eu d'importantes études relatives à l'identification des espèces, à leur valorisation par les populations locales et à leur composition biochimique (Fabricant et Farnsworth, 2001; Fennell *et al.*, 2004) très peu d'études se sont intéressées à la biologie de la reproduction et à l'écologie (Shanley et Luz, 2003; Ticktin, 2004). Cette lacune d'informations sur *Dialium guineense* en matière de la biologie, l'écologie et la distribution géographique pourrait entraver les efforts de sa conservation durable au profit des différents usages qu'en font les utilisateurs. De plus, très peu d'informations existent sur l'impact écologique des actions anthropiques (prélèvements, pratiques culturelles etc.) sur les espèces en particulier sur *D. guineense* et son habitat en général (Grace *et al.*, 2002; Ticktin 2004; Ghimire *et al.*, 2005). En dehors des études de McGeoch *et al.* (2008); Ndangalasi *et al.* (2007); Giday *et al.*, (2003); Alves et Rosa (2007) qui ont étudié l'impact des actions anthropiques dans certains pays africains sur les espèces, très peu d'études se sont focalisées sur l'impact des prélèvements et des pratiques culturelles sur l'écologie et la distribution des

plantes (*D. guineense* en particulier). Ainsi, le manque d'informations sur les espèces médicinales en général, et sur les lianes médicinales en particulier pourrait constituer un problème majeur en matière d'aménagement et de gestion des ressources naturelles.

Au Bénin 3200 espèces de plantes ont été inventoriées dans les écosystèmes forestiers (Akoegninou *et al.*, 2006). Parmi les plantes identifiées au Bénin, beaucoup sont utilisées par la population dans divers domaines (alimentation, médecine traditionnelle, énergie et pâturage). Mais la plupart des forêts habitant ces plantes ne sont plus dans leur état originel, ayant subi des modifications profondes de composition et de qualité (FAO, 2011) affectant directement la biodiversité. Malgré les ressources forestières très limitées (FAO, 2009; Awokou *et al.*, 2009; Ganglo, 2005), le Bénin connaît aussi une perte de sa biodiversité. Les travaux d'Adomou *et al.* (2010) ainsi que la liste rouge du Bénin (Neuenschwander *et al.*, 2011) ont permis de mettre en évidence la kyrielle d'espèces menacées d'extinction si des actions urgentes et sérieuses de conservation ne sont pas entreprises. De ces constats, la protection des espèces est en effet un but majeur dans la conservation de la biodiversité. *Dialium guineense* en est l'une des espèces dont les travaux de Adomou *et al.* (2010) et la liste rouge du Bénin (Neuenschwander *et al.*, 2011) n'indiquent qu'il est en danger critique d'extinction (CR). Mais la plus part des formations naturelles qui l'héberge sont gravement menacées au Sud du Bénin.

La distribution géographique et l'abondance de toute ressource font partie des toutes premières études dans l'évaluation, la potentialité et la disponibilité des espèces (Avocevou-Ayisso, 2011). Selon Arbonnier (2002) *Dialium guineense* se retrouve dans les formations forestières denses semi décidues, les galeries forestières et les berges des rivières des zones soudano-guinéennes et soudaniennes. Selon Ewedjè et Tandjiékpon (2011), l'espèce se rencontre dans la plupart des pays de l'Afrique Occidentale.

Au Bénin, *Dialium guineense* est très abondant dans le Noyau Central de la Forêt classée de la Lama (Bonou *et al.*, 2009; Lokonon, 2008), dans les Districts phytogéographique côtier à Pahou et Sèmè (Akoegninou *et al.*, 2006). Mais aucune information n'est disponible sur la distribution géographique et l'écologie des habitats de *D. guineense* sur le territoire national. Les quelques études réalisées sur des espèces spécifiques et leur distribution géographique ne concernent malheureusement pas cette espèce (Assongbadjo, 2006; Ouinsavi et Sokpon 2010; Avocevou-Ayisso, 2011; Fandohan, 2011; et Gouwakinnou *et al.*, 2011).

Ainsi, pour améliorer l'état de connaissance sur la distribution géographique de l'espèce et sa caractérisation structurale, cette étude vise à (i) déterminer la distribution géographique de *D. guineense* dans les phytodistricts de Pobè, Plateau et Vallée de l'Ouémé. (ii) déterminer les caractéristiques écologiques des phytocénoses à *Dialium guineense*.

2. MILIEU D'ETUDE

Le Bénin, situé dans la zone intertropicale, s'étend sur une superficie de 114763 km² entre 6°15' et 12° 25' N et 0° 40' et 3° 45' E, avec une côte de 120 km le long du Golfe de Guinée et à volée d'oiseau de 675 km de l'Atlantique jusqu'au fleuve Niger au Nord. Il possède, 55 aires protégées (Neuenschwander et Toko 2011). La population béninoise est estimée en 2004 à 7208552 habitants dont 3506558 hommes et 3701994 femmes. On note une dominance de la population féminine. Le rapport de masculinité est en défaveur des hommes (INSAE, 2004).

Le Sud Est du Bénin est traversé dans son entièreté par le plus grand fleuve du pays (Ouémé). Cette partie possède deux domaines classés (Kétou-Dogo; Pobè), diverses forêts communautaires (Gnanwouizou..), la plus importante zone humide (Vallée de l'Ouémé) de forêt dense semi décidue (Pobè). Ainsi, différents écosystèmes habitent des espèces floristiques utiles à la population riveraine. La zone d'étude se situe entre 6° et 7°5' latitude Nord et entre 2°30' et 2°45' longitude Est (fig. 1). Le district phytogéographique de Pobè correspond à la région guinéo-congolaise au Bénin, occupant 2 % du territoire national. Le sol est de type ferralitique et sans concrétions. La végétation naturelle est la forêt dense humide semi-décidue à *Triplochiton sclerosylon* et *Celtis zenkeri* avec la variante à *Strombosia pustulata* et *Piptadeniastrum africanum*. Les genres endémiques à la région Guinéo-Congolaise sont représentés par les espèces telles que *Amphimas pterocarpoides*, *Anthonotha* spp., *Distemonanthus benthamianus*, *Antrocaryon micraster*, *Coelocaryon preussii* et *Discoglyprena caloneura* (Adomou, 2005). La richesse spécifique est estimée à environs 300 espèces. Elle subit l'action des activités anthropiques qui la menace.

Le district phytogéographique de la vallée de l'Ouémé couvre la basse vallée de l'Ouémé et s'étend jusqu'à la latitude de 7°03' Nord et occupe 2% de la superficie totale du Bénin. Le sol est de type hydromorphe et de texture limono sableuse, à limono argileuse. La végétation est composée de forêts marécageuses à *Xylopia rubescens* et *Mitragyna ciliata*, de forêts périodiquement inondable à *Dialium guineense* et *Berlinia grandiflora* et des poches de forêts denses humides semi-décidue à *Triplochiton sclerosylon* et *Celtis zenkeri*. La famille des Olacaceae est la seule famille endémique de la région guinéo-congolaise recensée et est représentée par *Octoknema borealis*. La richesse spécifique est de 220 espèces végétales. La recherche de bois d'énergie et de service et l'agriculture constituent les principales menaces. Notons que l'unique écosystème marécageux communautaire la mieux préservé au Bénin est la forêt de Lokoli de 500 hectare.

Le district phytogéographique du Plateau appartient au domaine de plateau de terre de barre du continental terminal et occupe 7 % du territoire national. Le sol est de type ferralitique sans concrétions.

La végétation naturelle est la forêt dense humide semi-décidue à *Triplochiton sclerosylon* et *Celtis zenkeri* avec la variante climatiquement sèche à *Nesogordonia kabingaensis* (*Papaverifea*) et *Mansonia altissima* qui est enregistrée dans la Commune de Kétou. Dans la dépression de la Lama qui se prolonge dans cette zone, sur le vertisol se développe la variante édaphiquement sèche à *Dialium guineense* et *Mimusops andongensis*. Ici la richesse spécifique est de 400 espèces végétales. La forêt à *Nesogordonia kabingaensis* et *Mansonia altissima* est menacée aujourd'hui de disparition dont les facteurs essentiels sont la coupe anarchique de bois d'œuvre, l'empiètement dû à l'agriculture et l'élevage des bovins.

En ce qui concerne les caractéristiques socio-démographiques, la densité de la zone d'étude avoisine 537 habitants au km². On dénombre plusieurs groupes ethniques Nagot, Fon, Wémènou Mahi, Holli, Hollidjè, Adja, Mina, Toffin.

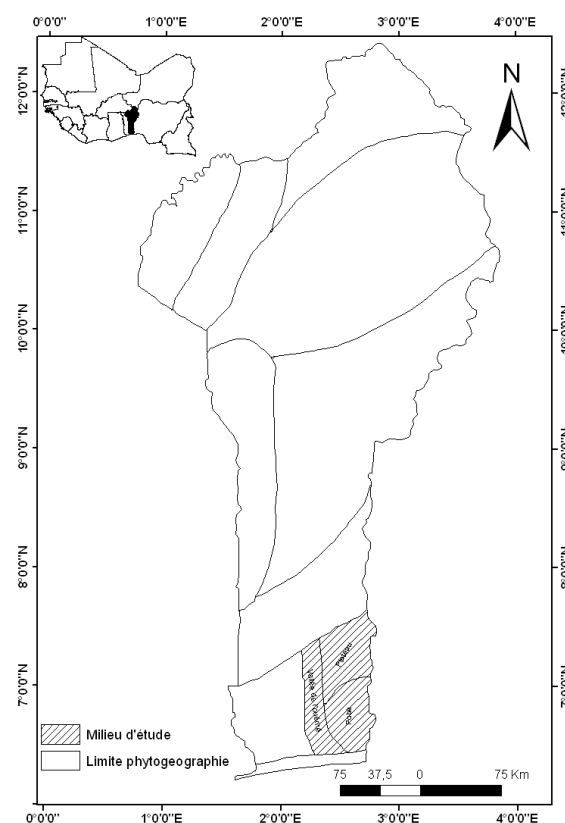


Fig. 1: Situation du milieu d'étude

3. METHODOLOGIE

3.1. Choix des sites de relevé phytosociologique et de répartition des placeaux

Plusieurs types de formations végétales ont été considérés à partir des cartes d'occupation du sol des trois districts phytogéographiques. Il s'agit des cartes élaborées en 2002 par l'Inventaire Forestier National (IFN) pour servir de site de relevé et aussi faciliter l'orientation dans les phytodistricts.

Une enquête sur la présence de l'espèce auprès des populations de la zone d'étude a été effectuée pour confirmer les informations fournies par l'Inventaire Forestier National (IFN). Les formations végétales prise en compte sont: les mosaïques de culture et jachère, les galeries forestières, les forêts denses, les forêts marécageuses et communautaires.

3.2. Dispositif d'inventaire et de collecte de données

Les relevés phytosociologiques ont été effectués dans des placeaux de 30 m x 30 m chacun, installés dans les galeries forestières. L'intervalle entre deux placeaux est d'au moins 500 m.

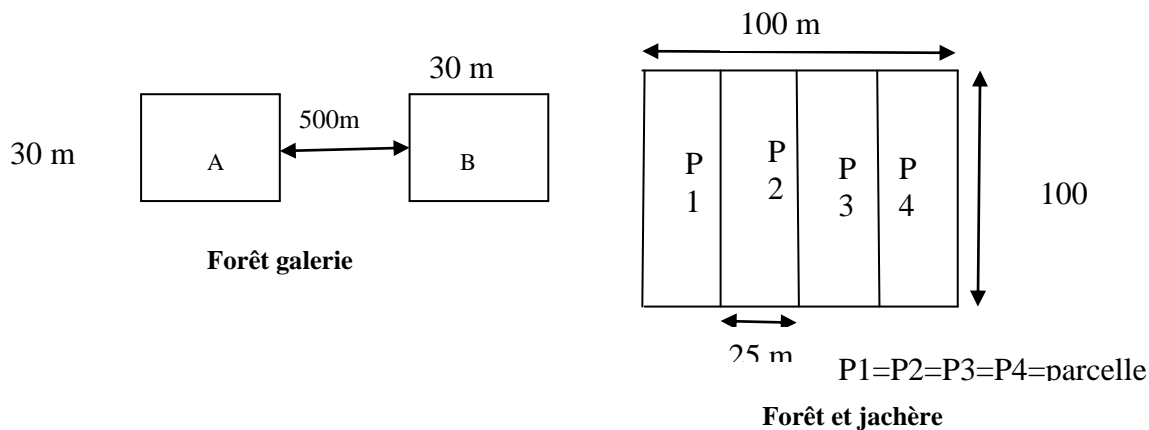


Fig. 2: Dispositif d'installation pour l'étude phytosociologique

3.3. Collecte des données phytosociologiques et écologiques

La méthode mise en œuvre pour caractériser les formations végétales dans les trois phytodistricts est celle utilisée par plusieurs auteurs (Djègo, 2006; Adomou 2005) qui consiste à réaliser les relevés phytosociologiques. Le «Global Positioning System» (GPS) a permis de matérialiser divers points repères et de cartographier les phytocénoses identifiées. Les mesures de diamètres et hauteurs d'arbres ont été effectuées grâce au mètre ruban et au clinomètre SUUNTO. Pour étudier le sol et la topographie, la tarière pédologique et le clinomètre SUUNTO (mesure de pente) ont été utilisés.

L'étude phytosociologique de la végétation (formation naturelle) a été réalisée suivant la méthode sigmatiste de Braun-Blanquet (1932) utilisé par Djègo (2006). L'étude des paramètres dendrométriques a été réalisée en tenant compte de tous les espèces ligneuses présentes dans les placeaux.

L'étude du sol a été faite par la description de profil textural réalisé sur les 30 premiers centimètres de profondeur, complété par des profils topographiques de 25 m et 1 km au sein des placeaux. Dans chaque placeau, les données recueillies ont été les suivantes : noms et coordonnées géographiques (en degré décimal) des placeaux; type de sol, le recouvrement des arbres et pressions anthropiques; coordonnées des groupes

L'étude phytosociologique au niveau des forêts denses, communautaires et jachères est faite par l'installation des placeaux d'un hectare. Ce dernier est divisé en des parcelles d'un kilomètre sur vingt cinq mètres (fig. 2). Mais lorsqu'il s'agit d'un champ toute la superficie est prise en compte. La distance séparant deux placeaux est de un kilomètre carré. Au total, 31 placeaux sont pris en compte par les travaux de terrain. Notons que le nombre de placeau dans les forêts communautaires est de 1 à 2 en fonction de leur superficie.

d'arbres de *Dialium guineense*; l'état de maturité: nombre de pieds petit ($d < 10$ cm; $h < 1$ m); jeune pieds ($d < 10$ cm; $h \geq 1$ m); adultes pieds ($dbh \geq 10$ cm; $h \geq 1$ m) et la distance (D) entre individus de *D. guineense* les plus proches. D'autres données dendrométriques ont été collectées à savoir: la hauteur du fût; la hauteur de la couronne; la largeur de la couronne dans les sens Nord-Sud et Est-Ouest; le nombre de branches; la forme du fût. En outre dans chaque placeau, et à chaque espèce est affecté le coefficient d'abondance dominance qui est l'expression de l'espace relative occupée par l'ensemble des individus de chaque espèce. A chaque classe d'abondance dominance correspond un recouvrement moyen noté (RM %) qui varie de 0,5 % à 87,5 %.

Les types biologiques (TB) retenus pour l'analyse des espèces inventoriées sont: les phanérophytes; Mégaphanérophytes (MPh); les Mésophanérophytes (mPh); les Microphanérophytes (mph); les Phanérophytes ligneuses grimpantes (Phgr) ou les lianes phanérophytes (Djègo, 2006).

Les sous types phytogéographiques (TP) sont ceux décrits par Oumorou (2003), à savoir: les Cosmopolites (Cos); espèces pantropicales (Pan); espèces paléo-tropicales (Pal); espèces afro-américaines (Am); espèces plurirégionales africaines (PRA); espèces afro-tropicales (AT); espèces soudano-zambéziennes (SZ).

3.4. Etablissement de la carte de distribution de *Dialium guineense*

Les coordonnées en degré décimal et les données écologiques par placeau ont permis d'établir au moyen de Arcgis.10, la carte de répartition de l'espèce dans le milieu d'étude, principalement à Pobè et d'estimer l'abondance des peuplements de *D. guineense*.

3.5. Analyse des données

• Identification des phytocénoses hébergeant *Dialium guineense*

La phytocénose est un groupement végétal formé d'un ensemble de facteurs organisés spatialement, temporellement et fonctionnellement (Gillet et al., 1991). Les groupements végétaux sont liés par des relations de dépendance d'ordre écologique, dynamique et génétique. Ainsi, les facteurs écologiques que sont la topographie et le sol jouent un rôle capital dans le déterminisme des divers groupements végétaux.

Ainsi donc, la discrimination des phytocénoses a été réalisée par une analyse directe de gradient (Analyse Canonique des correspondances, CCA) effectué sur la matrice de relevé floristique constitué de 31 placeau et de 157 espèces et la matrice écologique constitué des variables environnementales telle que la texture du sol, la topographie, l'humidité, le recouvrement et la perturbation anthropique avec le logiciel Canoco (ter Brank 1988).

• Description des phytocénoses discriminées

L'analyse de la diversité des phytocénoses a été fondée sur la richesse spécifique (S), l'indice de diversité de Shannon (H) et le coefficient d'équitabilité de Pielou (E). La richesse spécifique est déterminée par le nombre total d'espèces enregistrées au niveau de chaque phytocénose ; $H = -\sum p_i \cdot \log_2 p_i$ avec $p_i = r_i / r$; où r_i est le recouvrement de l'espèce i dans le relevé considéré et r désigne la somme totale des recouvrements des espèces du relevé. H s'exprime en bits. Il varie généralement entre 1 et 5 bits. ($H > 3,5$) signifie une forte diversité au sein du groupement végétal alors les conditions de la station sont très favorables à un grand nombre d'espèces dans des proportions quasi-égales. H faible ($H < 2,6$) signifie que les conditions du milieu sont très défavorables et induisent une forte spécialisation des espèces. $E = H / H_{max}$ avec $H_{max} = \log_2 S$; où S est le nombre total d'espèces. Il est compris entre 0 et 1. Si E tend vers 0 alors la quasi-totalité des individus appartiennent à une seule espèce et quand E prend la valeur 1 alors toutes les espèces ont exactement le même recouvrement.

• La densité de peuplement (N , arbres/ha)

La densité de peuplement est le nombre moyen d'arbres de $dbh \geq 10$ cm par hectare. Elle est donnée par la formule:

$$N = \frac{10000n}{s}$$

N étant le nombre total d'arbres par hectare et n le nombre d'arbres par placeau; $s = 900 \text{ m}^2$ pour les galeries et 10000 m^2 pour les forêts, champ et jachère. Le logiciel Minitab 14 a permis l'analyse de variance (ANOVA) au niveau des variables dendrométriques des différents phytocénoses. Lorsque les conditions d'application de ANOVA n'ont pas été vérifiées (normalité et homogénéité des variances), les tests non paramétriques de Kruskal et Wallis sont utilisés.

• Caractérisation structurale de *Dialium guineense*

La structure en diamètre représentée par la répartition des classes de diamètre revêt une grande importance en matière de gestion de la forêt en ce sens qu'elle est une expression de la structure de la population. Elle traduit également la réaction des individus aux conditions écologiques influençant la croissance et aux traitements sylvicoles appliqués (Rondeux, 1999).

Alors, la structure horizontale de *Dialium guineense* est représentée par la répartition des individus par classe de diamètre sur la base des fréquences des individus des différentes phytocénoses étudiées. Cette répartition est ajustée à la distribution de Weibull à trois paramètres en raison de sa flexibilité. La fonction de densité (f) est exprimée en fonction du diamètre (x) suivant la formule :

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x-a}{b}\right)^c\right]$$

où: b = paramètre d'échelle ou de taille; a = paramètre de position; c = paramètre de forme. La structure des populations de *Dialium guineense* est aussi approchée par la relation hauteur totale (m) / diamètre (cm). Différents modèles sont testés sur le nuage de points pour avoir celui qui s'ajuste le mieux à une courbe polynomiale $y = ax^2 + bx + c$, où : y = hauteur totale de l'arbre (m); x = diamètre (dbh) à 1,30 m au-dessus du sol où dbh en cm ; a et b = coefficients d'allométrie. Cette relation de croissance existant entre la hauteur et le diamètre à 1,30 m au-dessus du sol pour les trois phytocénoses est illustrée par la figure 13.

4. RESULTATS

4.1. Individualisation des phytocénoses

L'analyse canonique des correspondances (CCA) de la matrice brute constituée de 31 relevés et de 173 espèces montre que les deux premiers axes expliquent 51,4 % de la relation espèces-environnement (tableau 1). Le test de Monte Carlo a montré que les variables environnementales testées ont un effet significatif (P -value = 0,02) sur la distribution des phytocénoses hébergeant *D. guineense*.

Le tableau 2 de corrélation montre que l'axe 1 est fortement corrélé positivement avec le recouvrement de la strate arborée à 0,80 % et l'humidité du sol à 0,50 mais négative avec la topographie et la perturbation anthropique.

Le deuxième axe est corrélé positivement avec la texture du sol à 0,44 et négativement avec le recouvrement. Trois communautés végétales ont été mises en évidence par la carte factorielle de l'ensemble des relevés dans le plan factoriel des axes 1 et 2 (Fig. 3). Il s'agit de la phytocénose (G1) à *D. guineense* et *Sida acuta* correspondant aux relevés effectués dans les

champs et des formations postculturales (jachères); la phytocénose (G2) à *D. guineense* et *Berlinia grandiflora* composé des relevés effectués dans les forêts communautaires et savanes périodiquement inondées. Enfin, la phytocénose (G3) à *D. guineense* et *Celtis zenkeri* formé des relevés effectués au sein de la forêt dense et galeries forestières.

Tableau 1: Pourcentage cumulée de variance expliquée et valeur d'inertie de la CCA

AXES	1	2	3	4	Inertie totale
Valeurs propres	0,74	0,57	0,54	0,38	12,68
Species-environnement correlations (%)	0,95	0,91	0,90	0,83	
Pourcentage cumulée de variance expliquée (%)	29,20	51,40	72,60	87,50	

Tableau 2: Corrélation entre les variables environnementales et les axes canoniques

AXES	AXE1	AXE2	AXE3
Topographie	-0,67	-0,36	0,05
Texture du sol	-0,12	0,44	0,37
Recouvrement de la strate arborée	0,83	-0,40	-0,22
Humidité du sol	0,50	0,10	0,28
Perturbation anthropique	-0,59	-0,13	-0,37

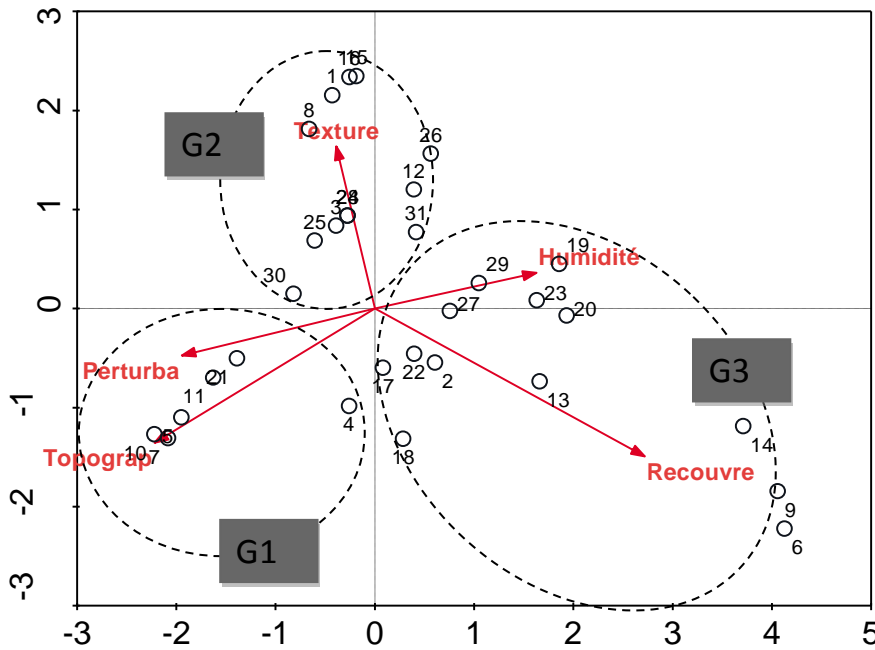


Fig. 3: Ordination des groupements végétaux par l'analyse canonique de correspondance

4.2. Caractérisation écologiques des phytocénoses à *Dialium guineense*

4.2.1. Diversité floristique des phytocénoses

173 espèces réparties en 43 familles ont été recensées. Le tableau 3 présente les paramètres écologiques et environnementaux des différentes phytocénoses. De l'analyse de ce tableau, la richesse spécifique en espèces (S) ligneuses varie peu d'un groupement à un autre. La plus forte valeur (66

espèces) est obtenue pour le groupement G2 (forêt communautaires et Savanes inondables) tandis que la plus faible (51 espèces) est obtenue pour le groupement végétal G1 (Champs/jachère). L'indice de diversité de Shannon (H) varie entre 3,8 bits et 4,2 bits. Les fortes valeurs de H obtenues témoignent de l'absence des phénomènes de dominance au sein des groupements. L'équitabilité de Pielou (E) varie de 0,66 à 0,70. Alors les communautés végétales sont diversifiées et on note une régularité dans la distribution des individus des espèces.

Tableau 3: Paramètres écologiques et environnementaux des différentes phytocénoses

Phytocénoses	Paramètres écologiques			Conditions stationnelles / Paramètres environnementaux	Etat de maturité	localité
	S	H	E			
phytocénose (G1) à <i>D. guineense</i> et <i>Sida</i>	51	3,8	0,66	Sols ferrallitiques sablo limoneux ou argilo sableux. Humidité élevée en saison pluvieuse et faible en saison sèche; perturbation forte; sur les talus et plaines; abondance de litière très faible; recouvrement 0,50 %. Dans cette phytocénose, la pente est relativement faible surtout dans les phytodistricts de Pobè et Kétou. Mais elle varie de 0 à 1 % dans la vallée de l'Ouémé. Le nombre relativement élevé de jeunes est dû au taux de rejet élevé par les souches des individus de <i>D. guineense</i> dans les jachères	petits et jeunes abondants; adultes peu	Idigni (Kétou) ; champs et jachère des phytodistricts de Pobè et Plateau.
Phytocénose (G2) <i>D. guineense</i> et <i>Berlinia grandiflora</i>	66	4,1	0,67	Sol hydromorphe, vertisol difficile à travailler en saison sèche mais très riche et noir; sols ferrallitiques sablo-limoneux ou argilo-sableux ; sol ferrugineux tropicaux hydromorphes. Perturbation relativement faible ; humidité moyenne ; abondance de litière 1,01 à 4,64 % ; recouvrement 37,5 %. Ici la pente est relativement élevée surtout dans la basse vallée, où on note des pentes de 2 à 5 %. Dans cette phytocénose le nombre des différents individus de <i>D. guineense</i> est moyen s'explique par le fait qu'ici, on a une abondance d'espèces lignes de grande taille à feuille large ce qui empêche le développement du sous bois.	petits et jeunes peu abondants; adultes moyen	Akpadanou (savazou); Itadjébou (forêt d'oro); Azohouilissè (la dépression) ; forêt de Kpékozou (Bonou) et Kétou
phytocénose (G3) à <i>D. guineense</i> et <i>Celtis zenkeri</i>	64	4,2	0,70	Vertisol difficile à travailler ; Sol ferrallitique argilo-sableux ; sol hydromorphe limono sableux, à limono argileux ; sol peu humifères à gleys lessivés. Perturbation très faible. Humidité élevée ; litière variant de 4,47 à 4,59% ; recouvrement 87,5 %. La pente dans cette phytocénose est faible à Pobè, 2 % dans les galeries de Dogo et nulle dans la vallée de l'Ouémé (Gnahouizou et bamèzou). Les facteurs édaphiques, l'humidité et la faible explique l'abondance des individus jeunes et adultes ici.	petits et adultes très abondant	Forêt de Pobè ; galerie de Dogo ; Bamèzou et Gnahouizou

4.2.2. Analyse des spectres biologiques et phytogéographiques des Phytocénoses

• Phytocénose à *D. guineense* et *Sida acuta*

Dans cette phytocénose, on note une prédominance des microphanérophytes avec 54 % du spectre brut pour un recouvrement moyen de 65,86 %. Les nanophanéphytes représentent 22 % du spectre brut avec un recouvrement moyen de 20,94 %. Les mégaphanéphytes sont très peu représentés avec 2 % du spectre brut pour 0,12 % du spectre pondéré (fig. 4A). La figure 4B présente la distribution des types phytogéographiques de cette phytocénose. Les espèces guinéo-congolaise, pantropicales et soudano-guinéenne abondent avec respectivement 34 %, 28 % et 18 % du spectre brut. Au niveau des spectres pondérés c'est les espèces paléotropical et pantropicale qui dominent respectivement avec 36,24 % et 35,39 % du recouvrement moyen.

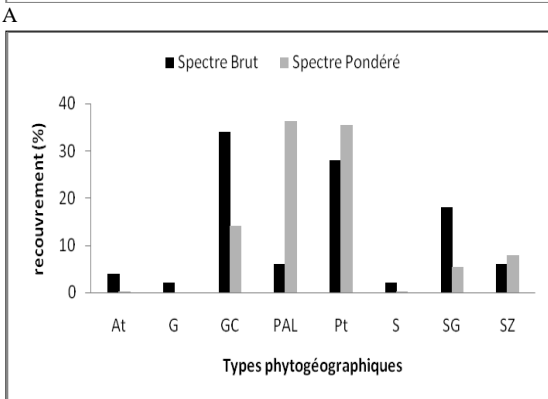
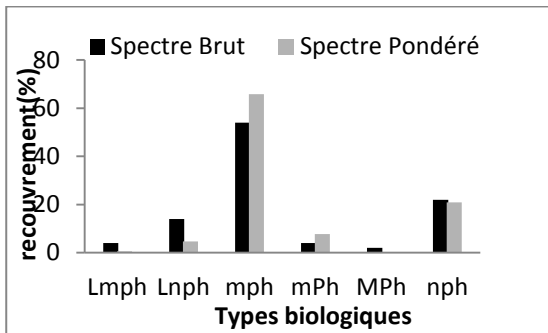


Fig. 4 A,B: Spectres brut et pondéré des types biologiques (A) et phytogéographiques (B) de la phytocénose à *D. guineense* et *Sida acuta*

• Phytocénose à *D. guineense* et *Berlinia grandiflora*

La figure 5A donne les spectres brut et pondéré des types biologiques de cette formation végétale. On note une prédominance des microphanérophytes avec 42,42 % du total pour un recouvrement moyen de 48,96 %. Les mégaphanéphytes sont faiblement représentés au niveau du spectre brut 1,52 % avec recouvrement moyen de 0,13 %. La distribution des types phytogéographiques de cette phytocénose est celle de la figure 5B.

Les espèces guinéo-congolaise et pantropicales prédominent avec respectivement 38,46 %, et 23,08 % du spectre brut pour 21,60 % et 31,09 % du spectre pondéré.

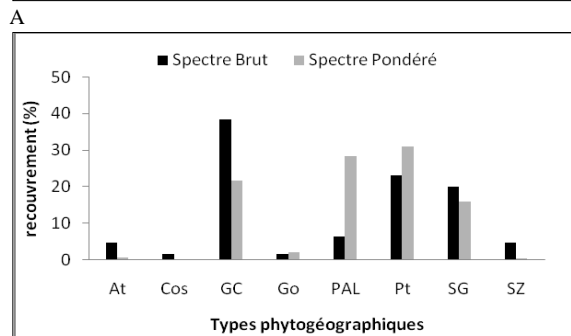
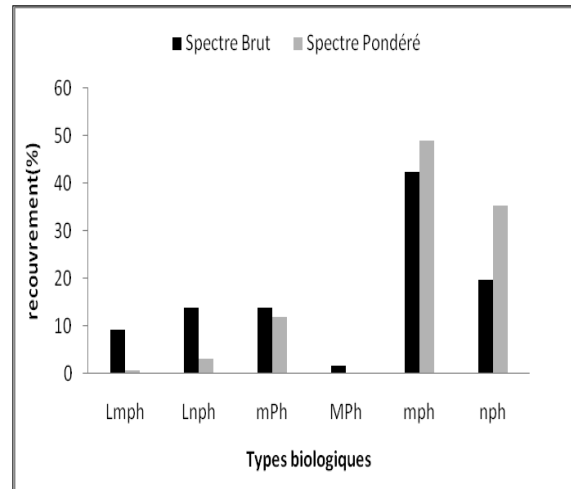
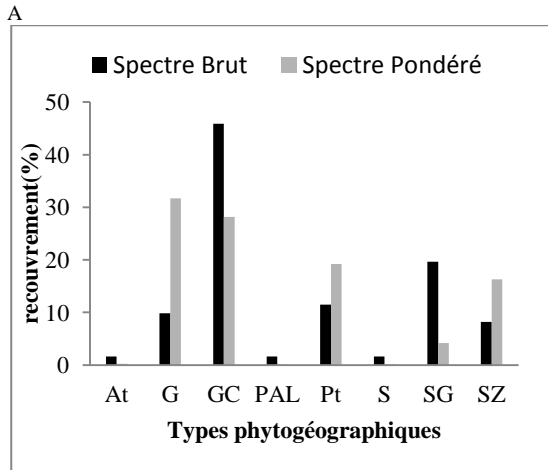
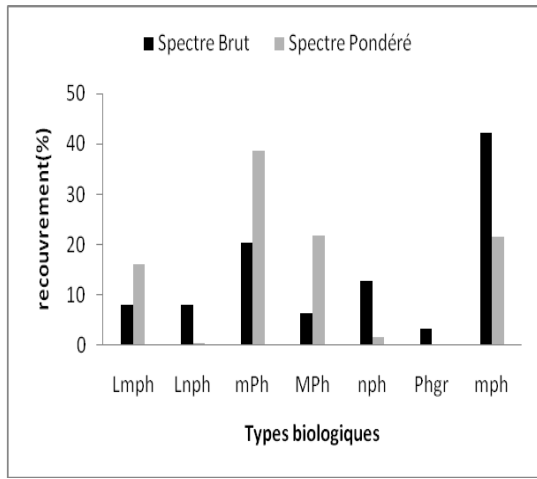


Fig. 5A,B: Spectres brut et pondéré des types biologiques (A) et phytogéographiques (B) de la phytocénose à *D. guineense* et *Berlinia grandiflora*

• Phytocénose (G3) à *D. guineense* et *Celtis zenkeri*

Les spectres bruts et pondérés des types biologiques (fig. 6A) de la phytocénose à *D. guineense* et *Celtis zenkeri* montrent une prédominance des micro-phanérophytes avec 42,18 % du spectre brut pour un recouvrement moyen de 21,56 %. Les méso-phanérophytes représentent 20,31 % du spectre brut avec un recouvrement moyen de 38,62 %. Les mégaphanéphytes sont faiblement représentés avec seulement 6,25 % du spectre brut et pour 21,65 % du spectre pondéré. La figure 6B présente la distribution des types phytogéographiques de cette phytocénose. Les espèces guinéo-congolaise et pantropicales dominent le spectre brut avec respectivement avec 45,90 %, 11,48 % des espèces. Quant au spectre pondéré, ce sont les espèces guinéo-congolaises, guinéennes et pantropicales qui prédominent respectivement avec 48,15 %, 31,72 % et 19,22 % du recouvrement moyen. Ensuite viennent les types soudano guinéennes et soudano zambéziennes.



B

Fig. 6A,B: Spectre brut et pondéré des types biologiques (A) et phytogéographiques (B) de la phytocénose à *D. guineense* et *Celtis zenkeri*

4.2.3. Caractéristiques dendrométriques des phytocénoses à *D. guineense*

Les paramètres dendrométriques de *Dialium guineense* sont présentés au tableau 4. Le diamètre moyen des pieds de *Dialium guineense* varie de 11,7 à 38,14 cm. En effet la valeur la plus élevée est obtenue dans les phytocénoses de forêts denses et galeries forestières tandis que la plus faible valeur est retrouvée dans les phytocénoses de champs/jachère. Suivant les phytocénoses en présence, il n’y a pas de différence significative entre le diamètre moyen des arbres de *Dialium guineense* (P= 0,607). La densité moyenne des pieds de l’espèce suivant les différents types d’écosystème varie de 7,0 des champs et jachère à 24,8 tiges / ha dans les forêts denses et galeries avec des coefficients de variation élevés oscillant entre 60,62 à 61,29 %, ce qui traduit une grande variabilité de la densité entre les différents types d’écosystèmes abritant l’espèce. Le test d’analyse de variance effectué sur la moyenne des densités montre une différence hautement significative (P = 0,001). On conclue que les forêts denses et galeries constituent l’écosystème favorable au développement des individus de *Dialium guineense*. La hauteur moyenne des arbres de l’espèce varie de 9 à 11 m. On ne note pas une différence significative entre la hauteur des individus au niveau des différents types d’écosystème car P=0,448. Le volume moyen des branches varie de 23,15 à 184,79 m³ par unité de surface en allant des champs aux forêts denses et galeries. Il y a une différence significative entre les volumes des branches d’une phytocénose à une autre.

Tableau 4: Les paramètres dendrométriques des groupements issus de la CCA

Paramètres	Phytocénoses			P-Value
	à <i>D. guineense</i> et <i>Sida acuta</i>	à <i>D. guineense</i> et <i>Berlinia grandiflora</i>	à <i>D. guineense</i> et <i>Celtis zenkeri</i>	
Diamètre moyen (D) (cm)	58,69	81,76	89,14	0,607
Ecart type	4,85	8,44	6,07	-
CV (%)	24,43	32,64	23,57	-
Densité (N) (individus/ha)	5,0	13,33	97,05	0,001
Ecart type	2,80	5,36	22,20	-
CV (%)	61,29	60,98	60,62	-
Hauteur moyenne H (m)	9	10,97	11,00	0,448
Ecart type	1,48	1,25	0,75	-
CV (%)	40,28	36,03	23,50	-
Volume du houppier (m ³)	57,65	151,52	187,59	0,001
CV (%)	23,15	125,93	184,79	-
Nombre moyen de branches	5,20	11,23	15,33	-

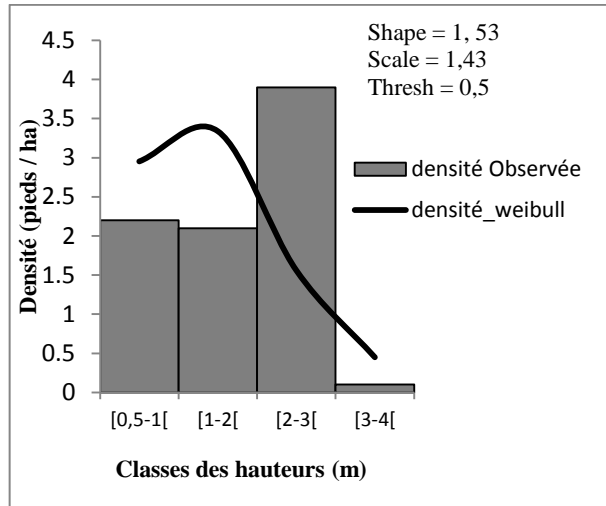
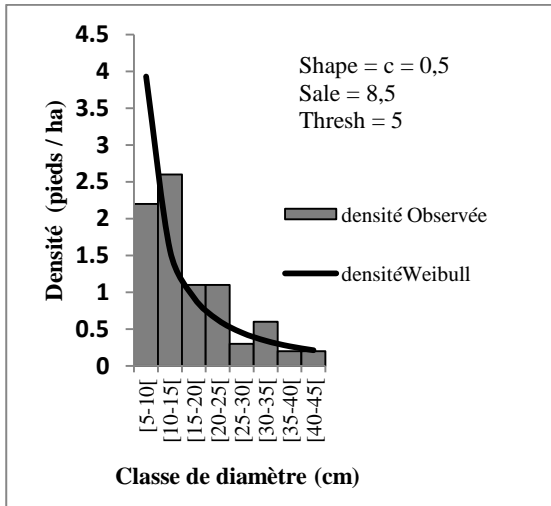
4.2.4. Structure en diamètre et en hauteur des phytocénoses à *Dialium guineense*

La figure 7A-F présente les structures en diamètre et en hauteur de chacune des trois phytocénoses à *Dialium guineense*. Ces structures ont une allure de J renversé qui caractérise les peuplements naturels d’espèce.

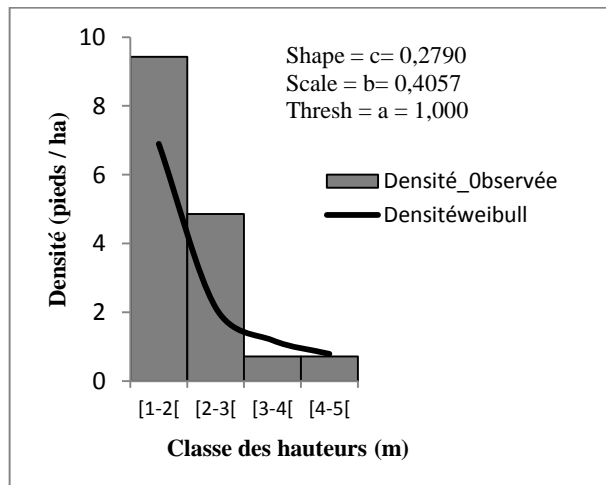
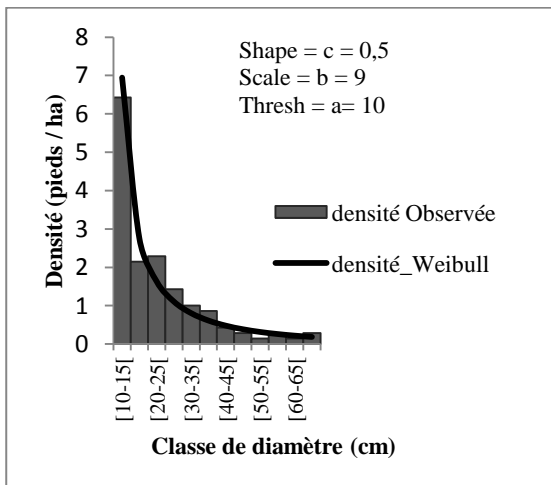
L’ajustement de la distribution horizontale des individus de *Dialium guineense* à la distribution de Weibull présente tout un indice de forme c compris entre 0 et 1. Cette forme de distribution est caractéristique des peuplements jeunes, multi-spécifiques avec une prédominance relative des individus de petits diamètres (10 à 15 cm).

De même quelques soient le peuplement considéré, on constate la prédominance de la classe de diamètre [30-35]. Les individus de grands diamètres sont observés au niveau des peuplements des forêts denses (diamètre >100 cm) (fig. 12). Ceci pourrait s'expliquer par le simple fait que dans cette phytocénose, l'effet de la protection est un atout favorable et aussi les individus de *D. guineense* au lieu de développer un houppier assez grand préfèrent croître en hauteur avec un bon diamètre.

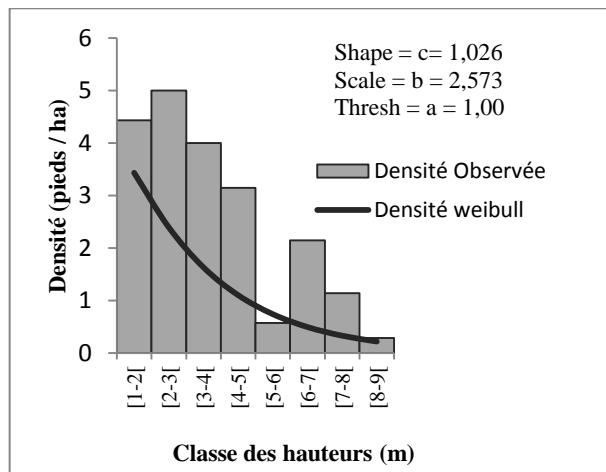
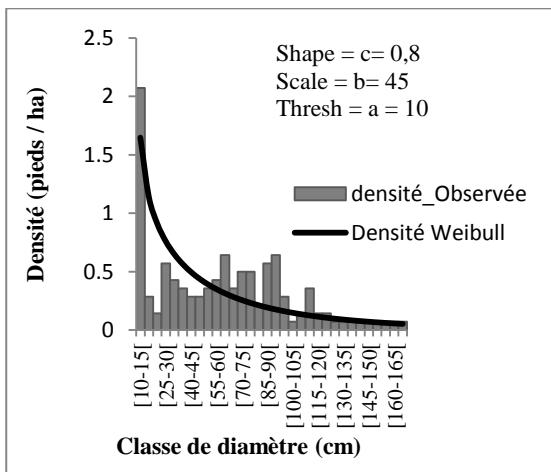
Quant à la hauteur des arbres de *Dialium guineense*, dans les trois phytocénoses l'ajustement de la distribution horizontale des individus de *Dialium guineense* à la distribution de Weibull présente un indice de forme c variant de 0,28 à 1,53. Ces indices de formes caractérisent les peuplements de faible hauteur. Ceci se vérifie sur le terrain du fait de l'abondance des individus de hauteur compris entre 1 et 5 mètre.



A



B



C

Fig. 7A-C: Structure en diamètre et en hauteur des individus de *D. guineense*; A: dans la phytocénose à *D. guineense* et *Sida acuta*, B: dans la phytocénose à *D. guineense* et *Berlinia grandiflora* ; C: dans la phytocénose à *D. guineense* et *Celtis zenkeri*

4.2.5. Relation entre diamètre et hauteur de *Dialium guineense*

La relation entre le diamètre et la hauteur des arbres de *D. guineense* dans les trois phytocénoses forestières est donnée par la figure 8A-C. Cette relation traduit l'équation polynomiale de la forme $y = -0,0031x^2 + 0,2045x - 0,4542$ avec $R^2 = 0,9563$ pour la phytocénose à *D. guineense* et *Sida acuta*. La phytocénose à *D. guineense* et *Berlinia grandiflora* a pour l'équation polynomiale de la forme :

$y = -0,0003x^2 + 0,0845x + 0,1907$ avec $R^2 = 0,9848$. Cependant la phytocénose à *D. guineense* et *Celtis zenkeri* son équation polynomiale est de la forme $y = 1E-05x^2 + 0,00463x + 0,7736$ avec $R^2 = 0,9761$. Le coefficient de détermination du modèle pour les phytocénoses est respectivement 0,96 % et 0,98 %. Ce qui signifie que le modèle est globalement significatif et on peut dire que 0,96 % et 0,98 % de la variation du diamètre explique la variation de la hauteur de l'espèce.

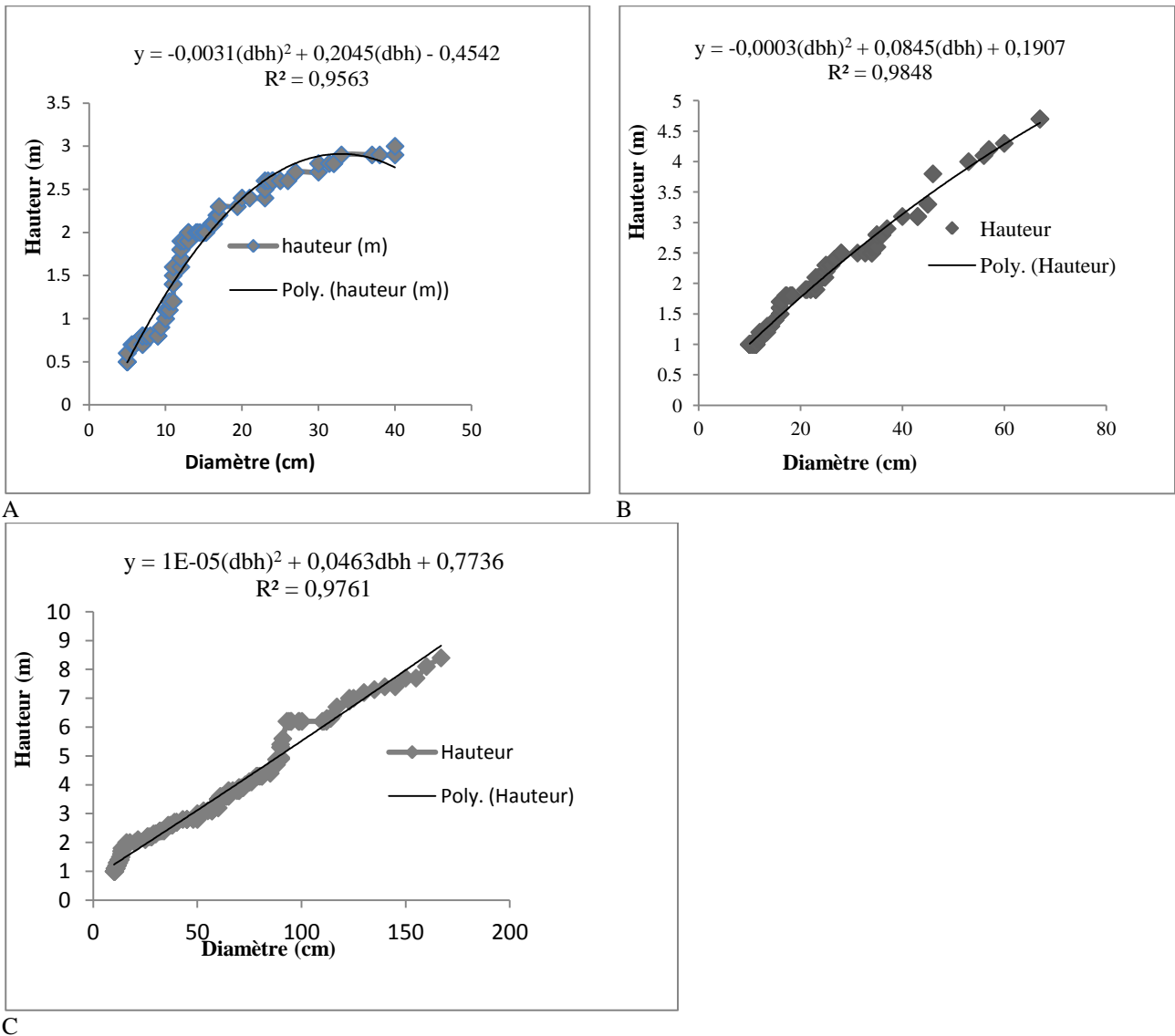


Fig. 8A-C: Relation entre la hauteur et le diamètre de *Dialium guineense*

4.2.6. Distribution de *Dialium guineense* à Pobè

Grâce aux coordonnées géographiques des pieds de *D. guineense* et à celles des placeaux, la carte de distribution de l'espèce a été réalisée dans le phytodistrict de Pobè (Fig. 9). Il ressort de cette carte que *D. guineense* se retrouve un peu par tout dans le

milieu : plusieurs types d'habitats. On peut citer les maisons, les jardins de case, les champs, les jachères, les savanes et les aires protégées. Cette espèce est adaptée à plusieurs types de sols (tableau 3). *D. guineense* est plus abondant au sud de Pobè plus précisément dans la forêt classée.

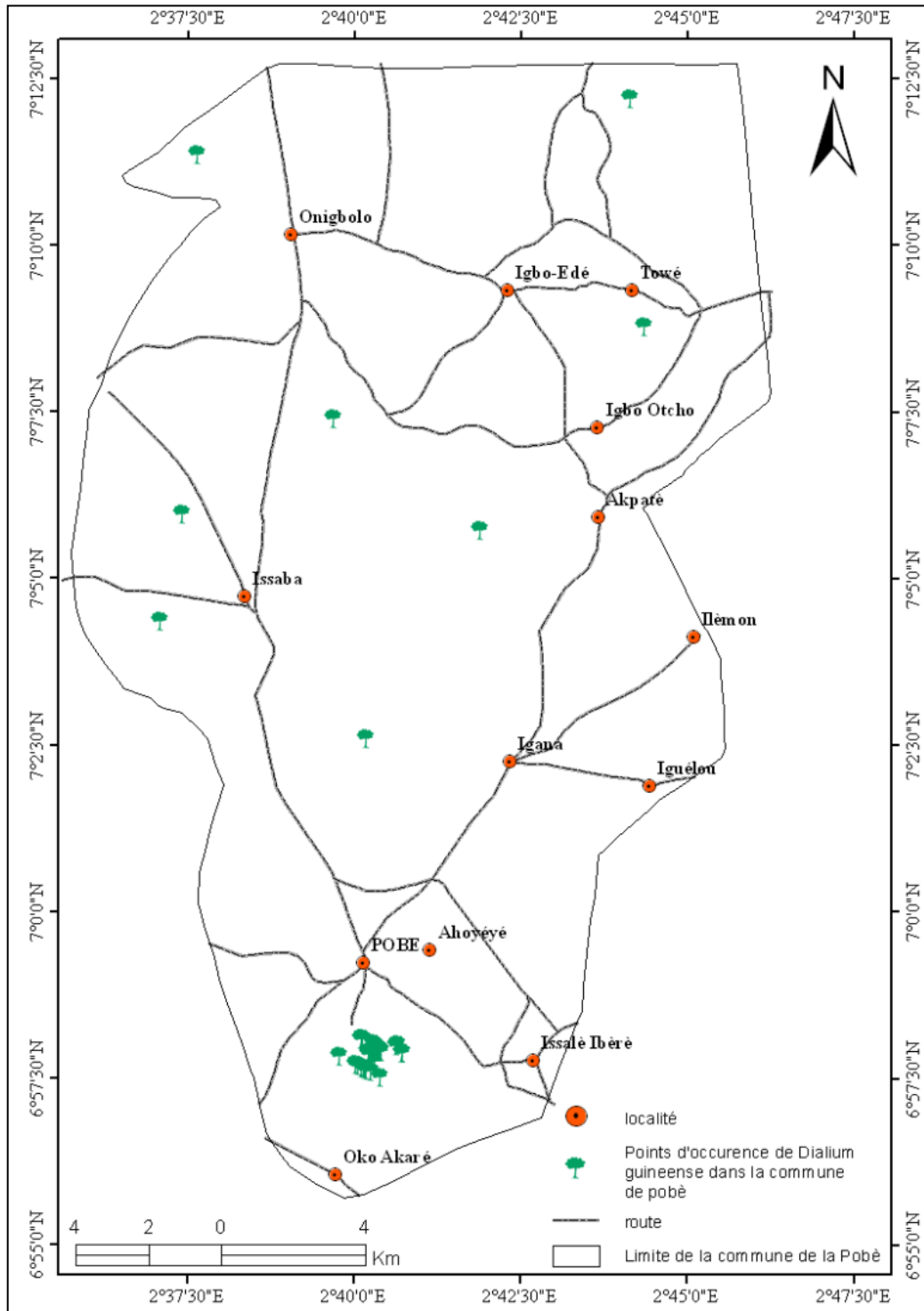


Fig. 9: Distribution géographique de *D. guineense* à Pobè

5. DISCUSSION

Individualisation des phytocénoses

Il ressort des analyses des relevés composant la matrice, trois groupements végétaux dont le mode de distribution est fonction des conditions écologiques et actions humaines qui prévalent (texture du sol, humidité, topographie, recouvrement et perturbation). Ces résultats corroborent avec ceux de Gnoumou *et al.* (2008) dans le parc Urbain de Bangr-Wéooogo qui trouvent sept groupements qui sont influencés par les

mêmes conditions écologiques. Les trois phytocénoses sont dans une série évolutive dépendant de la nature du sol et de sa teneur en humidité. On part des milieux anthropisés où le sol est pauvre en eau et en organites nutritives au sol riche en matière organiques due à l'action de taux élevé de l'humidité qui facilite la décomposition de la litière (relevés effectués au sein de la forêt dense et galeries forestières) en passant par la phytocénose des relevés des savanes et forêt communautaire périodiquement inondées.

Dans la phytocénose des champs et jachères, il y a prédominance des espèces à large distribution. Ces milieux étant perturbés subissent des influences externes intenses ce qui conduit à la présence des espèces allochtones en proportion élevée mais qui doivent diminuer au cours des années au fur et à mesure que la jachère prend de temps. Ces résultats corroborent avec ceux des auteurs Donfack (1998) et Ayichedehou (2000) ayant étudié les phytocénoses culturale et post-culturelles africaines en particulier au Bénin.

Etat et composition des phytocénoses

L'installation des champs et formations poste culturelles (groupement végétal à *Dialium guineense* et *Sida acuta* sur des sols ferrallitiques sablo-limoneux ou argileux-sableux ; où la topographie est constituée des talus et plaines avec des pentes relativement faible amène à dire que l'influence de la topographie est capitale dans la mise en place des phytocénoses. Tout cela se justifie par le fait que sur les talus, l'ablation du sol est faible et dans les plaines, on assiste à une accumulation des débris végétaux. Le groupement végétal à phytocénose *Dialium guineense* et *Berlinia grandiflora* qui dépend des sols hydromorphes, vertisol des forêts communautaires de la Vallée de l'Ouémé et des sols ferrugineux tropicaux hydromorphes, argileux ou argilo-sableux de Kétou, nous amène à dire que les conditions édaphiques influent fortement sur la mise en place des phytocénoses. La richesse en eau du sol est également un élément déterminant dans la mise en place des phytocénoses. Ainsi, sur les sols hydromorphes, les vertisols et sol sablo-limoneux, situés dans la plaine d'inondation, il se développe une végétation assez diversifiée avec une grande représentation des ligneux de grande taille. *Cola gigantea*, *Berlinia grandiflora*, *Ceiba pentandra*, *Celtis philipensis* et *Anthonotha macrophylla* qui sont les espèces dominantes de la phytocénose. Sokpon (1995) signalait déjà qu'un tel groupement végétal ne se retrouve que dans les bas-fonds à mi-pente, sur sols hydromorphes et à texture sableuse. De tout ce qui précède, on peut conclure que la topographie et les types de sols sont des facteurs qui jouent un rôle capital dans la mise en place des communautés végétales. Ceci va dans le même sens des études antérieures dans le domaine de l'écologie végétale abordée par les chercheurs: Ganglo et de Foucault 2006; Ganglo (2005); Aoudji *et al.* 2006 et Noumon *et al.* 2006.

Caractéristiques dendrométriques des phytocénoses à *Dialium guineense*

Les caractéristiques dendrométriques des groupements végétaux des champs et jachères; forêts communautaires; forêt dense et galerie forestière des trois phytodistricts d'Est du Sud-Bénin montrent que les groupements végétaux à dominance de *Dialium guineense* ont pour valeur de la richesse spécifique égale à 66 espèces (forêt communautaire), des densités moyennes de 127 pieds / ha, l'Indice de Shannon 4,2

bits et l'Equitabilité de Pielou (0,67). Des différents résultats énumérés et comparés à ceux de Adjakpa et Léonard (2008) sur la richesse spécifique, la densité et les indices de Shannon, de Pielou permet de conclure que le milieu est diversifié en fruitier sauvages et espèces utiles à la population qui sont toutes des Produits Forestiers Non Ligneux. Dans cette étude, comme il s'agit d'une étude spécifique sur un PFNL, la détermination de la surface terrière de *D. guineense* n'est pas quantifiée. La présente étude donne la possibilité de discriminer différentes phytocénoses d'une espèce sur la base des variables stationnelles et dendrométriques. La prédominance d'individus petit (seedling) et jeune (sapling) de faible diamètre, est révélatrice d'une bonne régénération naturelle. Cependant, l'origine de cette régénération naturelle (par graines ou de rejets de souche) doit être analysée en relation avec l'intensité de l'exploitation de l'espèce. Aussi, l'analyse des données complémentaires sur le degré de pressions anthropiques de chaque zone d'occurrence de *Dialium guineense* peut permettre d'affiner la connaissance scientifique sur sa population.

Structure en diamètre et en hauteur

La répartition par classe de diamètre présente une allure en J renversé pour les trois phytocénoses avec une domination des individus de faible diamètre (10 à 15 cm). Cette distribution en classe de diamètre par écosystème de *Dialium guineense* donnant une allure en J renversé non centré au niveau des trois écosystèmes étudiés est comparable avec d'autres études sur des espèces fruitières comme *Tamarindus indica* Fandohan (2008) et Djossa *et al.* 2008 sur la karité en milieu naturel au Bénin.

La relation hauteur / diamètre constitue aussi un bon indicateur des conditions écologiques de croissance des espèces (Vanclay 2009). Les équations obtenues permettent de prédire, avec un coefficient de corrélation (R^2) élevé de l'ordre de 95 à 98 %, les hauteurs de *D. guineense* à partir des diamètres pour chacune des phytocénoses discriminées. La ressemblance des équations peut être attribuée aux conditions édaphiques, l'anthropisation du milieu et la présence permanente de l'eau dans les forêts communautaires et la topographie dangereuse à certains endroits du milieu d'étude.

Répartition du *Dialium guineense* (Willd)

L'étude de la distribution des Produits Forestiers Non Ligneux (PFNL) cas de *Dialium guineense* est d'une importance pour la connaissance de leurs habitats au Bénin. Ainsi donc, les auteurs Avocevou-Ayisso (2011) et Natta *et al.* 2011 ont étudié la répartition de *P. butyracea* (un PFNL) au Bénin. La présente carte de distribution de *Dialium guineense* (Figure 14) est une cartographique de l'aire de l'espèce qui conduira à une modélisation de sa niche écologique potentielle.

6. CONCLUSION

La présente étude permet de comprendre quelques aspects de la caractérisation écologique de *Dialium guineense* dans les districts phytodistricts d'Est du Sud-Bénin. Les populations de cette espèce deviennent rares au Bénin, disparaissent en même temps que les forêts qui l'abritent en raison des facteurs anthropiques. Les phytodistricts de la Vallée de l'Ouémé, de Pobè et du Plateau des départements de l'Ouémé et du Plateau conservent petits, jeunes et adultes de *Dialium guineense*. Les différentes phytocénoses sont caractérisées par les caractères structuraux (dbh, hauteur, volume du houppier, densité, nombre de branches). La structure en diamètre et en hauteur varient selon les phytocénoses étudiées.

Vu l'aire de répartition ou l'habitat, des pressions et menaces pèsent sur les populations de cette espèce. Il urge de préserver les forêts et les galeries forestières qui sont les habitats actuels de *Dialium guineense*. Il faudra également concevoir un plan d'exploitation des galeries forestières. Des études sont nécessaires pour caractériser la morphologie, déterminer les facteurs de dispersion et les déprédateurs influençant l'existence de l'espèce.

REMERCIEMENTS

C'est un honneur pour nous de remercier les Professeurs Djègo G. Juilien et Yédomonhan H. Paul pour tous les soutiens qu'il nous ont apporté pour l'amélioration de la qualité scientifique de l'article.

BIBLIOGRAPHIE

Adjakpa, B.J. & Akpo, L.E. (2008). Flore ligneuse du bas-delta de l'Ouémé dans le Sud-Bénin *Journal Science*. Vol. 8, N° 4, 1-14.

Adomou, C.A. (2005). Vegetation patterns and environmental gradients in Benin. Implications for biogeography and conservation. PhD Thesis. *Wageningen University, Wageningen*: 150p.

Adomou, A.C. Sinsin, B. Akoégninou, A.A. & van der Maesen, J. (2010). Plants species and ecosystems with high conservation priority in Benin. In: X. van der Burgt, J. van der Maesen & J.-M. Onana (eds), *Systematics and Conservation of African Plants, Royal Botanic Gardens, Kew*. 429-444. pp

Akoégninou, A. Adjakidjè, V. Essou, J.P. Sinsin, B. Van der Burg, W.J. Vander Maesen, L.J.G. & Yédomonhan, H. (2006). Flore analytique du Bénin. *Cotonou et Wageningen* 1063 p.

Alves, R. & Rosa, I. (2007). Biodiversity, traditional medicine and public health: where do they meet? *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. N° 3, 14.

Aoudji, A.K.N. Ganglo, C.J. Adjakidjè, V. de Foucault, B. & Azontondé, A.H. (2006). Phytocénose à *Barteria nigritana* (Hook.f.) et *Rauvolfia vomitoria* (Afzel). dans le sous-bois des plantations de bois de feu de la forêt classée de Pahou, Sud-Bénin. *Journal de*

Botanique de la Société Botanique de France. 34 : 81-88.

Arbonnier, M. (eds). (2002). Arbres arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. *CIRAD*

Assogbadjo, A.E. (2006). Importance socio-économique et étude de la variabilité écologique, morphologique, génétique et biochimique du baobab (*Adansonia digitata* L.) au Bénin. Thèse de doctorat. *Faculté Bio-Ingenieur-swetenschappen. Universiteit Gent*, 213p.

Avocevou Ayisso, C. Avohou, T.H. Oumorou M. Dossou, G. & Sinsin, B. (2011). Ethnobotany of *Pentadesma butyracea* Sabine in Benin: A quantitative approach. *Ethnobotany journal*. vol9 /i1547-3465-09-00X.pdf.

Avocevou-Ayisso, C.M.A. (2011). Etude de la viabilité des populations de *Pentadesma butyracea* Sabine et de leur socioéconomie au Bénin. Thèse de doctorat. *Université d'Abomey Calavi, Bénin*. 223 p.

Awokou, K.S. Ganglo, C.J. Azontondé, H.A. Adjakidjè, V. & De Foucault, B. (2009). Caractéristiques structurales et écologiques des phytocénoses forestières de la forêt classée d'Ichèdè (Département du Plateau, Sud-Est Bénin). *Sciences et Nature* 6(2): 125-138.

Ayichedehou, M. (2000). Phytosociologie, Ecologie et Biodiversité des phytocénoses culturelles et postculturelles du sud et centre Bénin. Thèse de doctorat, *Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique*

Belem, B. Nacoulma, B.M.I. Gbangou, R. Kambou, S. Hansen, H.H. Gausset, Q. Lund, S. Raebild, A. Lomp, D. Ouedrago, M. Theilade, I. & Boussim, I.J. (2007). Use of non wood forest products by local people bordering the "Parc National Kaboré Tambi", Burkina Faso. *The journal of Transdisciplinary Environmental Studies* 6 (1).

Bonou, W. Glèlè Kakai, R. Assogbadjo, A.E. Fonton, H.N. & Sinsin, B. (2009). Characterisation of *Azelia africana* Sm. habitat in the Lama Forest reserve of Benin. *Forest Ecology and Management* 258: 1084-1092.

Cavendish, W. (2000). Empirical regularities in the poverty-environment relationship of rural households: evidence from Zimbabwe, *World Development* 28: 1979-2003.

Djègo, G.J. (2006). Phytosociologie de la végétation de sous-bois et impact écologique des plantations forestières sur la diversité floristique au sud et au centre du Bénin. Thèse de doctorat. *Université d'Abomey-Calavi, Bénin*, 369p.

Djossa, B.A., Fahr, J. Wiegand, T. Ayihoué'nou, B. E. Kalko, E. K. & Sinsin, B.A. (2008). Land use impact on *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaerten. Stand structure and distribution patterns: a comparison of Biosphere Reserve of Pendjari in Atacora district in Benin *Agroforest Systeme* 72:205-220.

- Donfack, P. (1998). Vegetation des jachères du Nord-Cameroun. Typologie, diversité, dynamique, production. *Thèse d'état, Université de Yaoundé, Yaoundé, Cameroun.*
- Ewedjè, B. & Tandjiékpon, A. (2011). *Dialium guineense* Willd., Tamarinier noir. Conservation et utilisation durable des ressources génétiques des espèces ligneuses alimentaires prioritaires de l'Afrique subsaharienne. *Saforgen ISBN: 978-84-694-3165-8*. 8p.
- Fabricant, D. & Farnsworth, N. (2001). The value of plants used in traditional medicine for drug discovery. *Environmental Health Perspectives* 109: 69–75.
- Fandohan, B. Kakaï Glèlè, R. Sinsin, B. & Pelz, D. (2008). Caractérisation dendrométrique et spatiale de trois essences ligneuses médicinales dans la forêt classée de Wari-Marou au Bénin. *Rev. Ivoir. Science. Technologie*. 12; 173-186.
- Fandohan, B. Assogbadjo, A.E. Kakaï Glèlè, R. & Sinsin, B. (2011). Geographical distribution, tree density and fruit production of *Tamarindus indica* L. (Fabaceae) across three ecological regions in Bénin. *Fruits*, vol. 66 (2)
- Fennell, C. Lindsey, K. McGaw, L. Sparg, S. Stafford, G. Elgorashi, E. race, O. & Van Staden, J. (2004). Assessing African medicinal plants for efficacy and safety: pharmacological screening and toxicology. *Journal of Ethnopharmacology*, 94 : 205–217.
- FAO (2004). Non-Wood Forest Products. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: <http://www.fao.org/forestry/FOP/FOPW/NWFP/new/nwfp.htm>.
- FAO. (2011). Situation des forêts du monde 176.
- FAO. (2009). Situation des forêts du monde. 168p.
- Ganglo, J.C. & de Foucault, B. (2006). Plant communities, forest site identification and classification in Toffo reserve, South-Benin. *Bois et Forêts des Tropiques*. 288 (2) : 25-38.
- Ganglo C. J. (2005). Groupements de sous bois, identification et caractérisation des stations forestières : cas d'un bois au Bénin. In *Bois et Forêts des tropiques*, N°285 (3). 35-46.
- Ghimire, S., McKey, D. & Aumeeruddy Thomas Y. (2005). Conservation of Himalayan medicinal plants: harvesting patterns and ecology of two threatened species, *Nardostachys grandiflora* et *Neopicrorhiza scrophulariiflora*. *Biological Conservation* 124 : 463–47.
- Giday, M., Asfaw, Z. Elmqvist T. & Woldu Z. (2003). An ethnobotanical study of medicinal plants used by the Zay people in Ethiopia. *Journal of Ethnopharmacology*,: 85: 43–52
- Gillet, F. (2000). *Phytosociologie synusiale intégrée. Guide méthodologie*. 4^{ème} édition revue et corrigée. Université de Neuchâtel – Institut de Botanique. 68 pp.
- Gillet, F., de Foucault B. & Julve, P. (1991). La phytosociologie synusiale intégrée : objets et concepts. *Candollea* 46 : 315-340.
- Gouwakinnou, G.N., Lykke A.M., Assogbadjo, A. E. & Sinsin, B. (2011). Local knowledge, pattern and diversity of use of *Sclerocarya birrea*. *J Ethnobiol Ethnomed* 7(8) 1746-4269.
- Gouwakinnou, G. N., Kindomihou, V. Assogbadjo, A. E. & Sinsin, B. (2009). Population structure and abundance of *Sclerocarya birrea* (A. Rich) Hochst subsp. *birrea* in two contrasting land-use systems in Bénin. *International Journal of Biodiversity and Conservation* Vol. 1(6) 194-201.
- Gnoumou, A., Thiombiano, A., Hahn-Hadjali, K., Abadouabou, B., Sarr, M. & Guinko, S. (2008). Le parc Urbain Bangr-Wéogo : une aire de conservation de la diversité floristique au cœur de la ville de Ouagadougou, Burkina Faso. *Flora et vegetatio Sudano-Sambesica, Vol (11), 35-48.*
- Grace O., Prendergast H., van Staden J. & Jager A. (2002). The status of bark in South African traditional health care. *South African Journal of Botany* 68 : 21–30.
- INSAE. 2004. Rapport de la population du Bénin 2002 2004. 93p sur Google recherche consulté le 13 Octobre 2012.
- Lokonon, B.E. (2008). Structure et ethnobotanique de *Dialium guineense* Willd., *Diospyros mespiliformis* Hochst. Ex A. Rich et *Mimusops andongensis* Hiern en populations dans le Noyau Central de la Forêt Classée de la Lama (Sud-Bénin), Thèse d'ingénieur Agronome, *Faculté des Sciences Agronomiques /Université d'Abomey Calavi*, 89p.
- Mahapatra, A.K., Albers, H. J. & Robinson, E.J.Z. (2005). The impact of NTFP sales on rural households cash income in India's dry deciduous forest, *Environ. Manage.* 35 (3) 258-265.
- Mamo, G. Sjaastad, E. & Vedeld, P. (2007). Economic dependence on forest resources: a case from Dendi District, Ethiopia. *Forest Policy and Economics*, 9: 916–927.
- McGeoch, L., Gordon I. & Schmitt J. (2008). Impacts of land use, anthropogenic disturbance, and haversting on an African medicinal liana. *Biological Conservation* 141 : 2218-2229.
- Nakazono, E.M. Bruna, E.M. & Mesquita, R.C.G. (2004). Experimental harvesting of the non-timber forest product *Ischnosiphon polyphyllus* in central Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 190: 219–225.
- Natta, A.K., Adomou, A.C., Tchabi, V.I., Sogbegnon, A.R., Mensah, G.A & Sinsin, B. (2011). Inventaire, typologie et structure des populations naturelles de *Pentadesma butyracea* (Clusiaceae) de la chaîne de l'Atacora au Nord-Ouest du Bénin.

- Ndangalasi, H. J., Bitariho, R & Dovie, D.B.K. (2007). Harvesting of non-timber forest products and implications for conservation in two montane forests of East Africa. *Biological Conservation* 134: 242–250.
- Neuenschwander, P. & Toko, I. (2011). Bénin, its natural environment and socio-economic data, pp 11-13. In: Red List for Benin. *International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria* 365p.
- Neuenschwander, P., Sinsin, B. & Goergen, G. (eds). 2011. Protection de la nature en Afrique de l'Ouest: Une Liste Rouge pour le Bénin. Nature Conservation in West Africa: Red List for Benin. *International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria*. 365p.
- Noumon, C.J., Ganglo C.J. Azontondé, A.H., de Foucault, B. S. & Adjakidjè V. (2006). Phytocénose à *Mallotus oppositifolius* (Geisl.) Müll. Arg et *Deinbollia pinnata* Schumach. & Thonn. Dans le sous-bois des teckeraies du Centre-Bénin. *Journal de Botanique de la Société Botanique de France*. 36 : 35-61.
- Ouinsavi, C. & Sokpon, N. (2010). Morphological Variation and Ecological Structure of Iroko (*Milicia excelsa* Welw. C.C. Berg) Populations across Different Biogeographical Zones in Benin. *International Journal of Forestry Research* Volume 2010, Article ID 658396, 10 pages doi:10.1155/2010/658396
- Oumorou, M. & Lejoly, J. (2003). Ecologie et végétation de l'inselberg Sobakpérou (nord-Bénin). *Acta Bot. Gallica* 150 (1), 65-84.
- Rodriguez-Buriticá, S. Orjuela, M.A. & Galeano, G. (2005). Demography and life history of *Geonoma orbignyana*: An understory palm used as foliage in Colombia. *Forest Ecology and Management*, 211: 329–340.
- Rondeux, J. (1999). La mesure des peuplements forestiers. *Presses agronomiques de Gembloux*, 522 p.
- Shanley, P. & Luz, L. (2003). The impacts of forest degradation on medicinal plant use and implications for health care in eastern Amazonia. *Bioscience* 53 : 573–584.
- Sokpon, N. (1995). Recherche écologique sur la forêt dense semi décidue de Pobè au Sud- Est du Bénin : Groupements végétaux, structure, régénération naturelle et chute de litière. Thèse de Doctorat ; *Université Libre de Bruxelles*. 350 pp.
- Taïta, P. (2003). Use of woody plants by locals in Mare aux Hippopotamus Biosphere Reserve in western Burkina Faso. *Biodiversity and Conservation*, 12: 1205-1217.
- Tchatat Mathurin & Ousseynou Ndoye. 2006. Étude des produits forestiers non ligneux d'Afrique centrale : réalités et perspectives *Bois et forêts des tropiques*, n° 288 (2).
- Ter Braak C.J.F. 1988. "CANOCO-an extension of DECORANA to analyze species-environment relationships," *Vegetatio*, vol. 75, no. 3, pp. 159-160,
- Ticktin, T. (2004). The ecological implications of harvesting non timber forest products. *Journal of Applied Ecology* 41: 11–21.
- Shackleton, C.M. Shackleton, S.E. Buiten, E. & Bird, N. (2007). The importance of dry woodlands and forests in rural livelihoods and poverty alleviation in South Africa. *Forest Policy and Economics*, 9: 558–577.
- Sina, S. 2006. Reproduction et diversité génétique chez *Parkia bilgobosa* (Jacq.) G. Don. PhD Thesis Wageningen University, Wageningen, the Netherlands. ISBN 90-8504-361-1.
- Vanclay, J.K. (2009). Trees diameter, height and stocking in even aged forest. *Ann. For. Sci.*, 66(702): 1-7.
- Wadt, L.H.O. Kainer, K.A. & Gomes-Silva, D.A.P. (2005). Population structure and nut yield of a *Bertholletia excelsa* stand in Southwestern Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 211: 371–384.



Preliminary assessment of fish diversity in Lowa River

¹Kisesselwa T., ¹Tsumbisho M., ²Ntakimazi G. & ³Micha J.-C.

¹Unité d'Enseignement et de Recherche en Hydrobiologie Appliquée; Département de Biologie, ISP-Bukavu, Democratic Republic of Congo; kisengoja@yahoo.fr;

²Département de Biologie à la faculté des Sciences, Université du Burundi, Burundi ;

³Unité de Recherche en Biologie Environnementale et Evolutive, Université de Namur, Namur, Belgium.

Reçu: le 11 Avril 2013

Accepté: le 14 Octobre 2013

Publié: le 4 Novembre 2013

ABSTRACT

Key words: fish diversity, evaluation, Lowa basin

During this study, nineteen species have been collected in Lowa River. All species belong to 6 orders (Siluriforms, Osteoglossiforms, Perciforms, Synbranchiforms, Cypriniforms and Characiforms) and 10 families: Clariidae, Schilbeidae, Bagridae, Claroteidae, Mormyridae, Cichlidae, Mastacembellidae, Cyprinidae, Alestidae and Distichodontidae. Eighteen genera are almost monospecific except the genus *Labeo*. The different species collected are *Clarias* sp., *Parauchenoglanis punctatus*, *Pollimyrus* sp., *Oreochromis niloticus*, *Mastacembellus congicus*, *Labeo lukulae*, *L. macrostomus*, 'Barbus' sp., *Bryconaethiops boulengeri*, *Brycinus* aff. *poptae*, *Pareutropius debauwi*, *Bagrus bajad*, *Bathybagrus graueri*, *Mormyrus caballus*, *Myomyrus* aff. *macrops*, *Marcusenius* sp., *Raiamas* sp., *Micralestes humilis* and *Distichodus altus*. The species distribution in Lowa within the different habitats is driven by substratum habitats characteristics. The specimens of Clariidae, Claroteidae, Bagridae, Schilbeidae, Mormyridae have been collected in shallow with a silt-substratum and quite water. The Cyprinidae, Alestidae and Distichodontidae have a trend to colonize the station with an almost rapid-waters and close to the macrophytes roots. The Mastacembellidae specimens are distributed within the roots that submerged at the inshore stations. The Cichlidae was scarce in capture. Some species were limited by waterfall. For example, *Marcusenius* sp. and *Myomyrus* sp. can be only found in upstream of Boboro waterfall. The PCA showed an overlap between Lowa *Marcusenius* specimens and *Marcusenius intermedius*.

RESUME

Mots-clés: Diversité des poissons, évaluation, bassin de la Lowa

Dans le cadre de ce travail, 19 espèces de poissons ont été collectées dans la rivière Lowa. Ces espèces appartiennent à 6 ordres (Siluriformes, Osteoglossiformes, Perciformes, Synbranchiformes, Cypriniformes et Characiformes) ; réparties en 10 familles (Clariidae, Schilbeidae, Bagridae, Claroteidae, Mormyridae, Cichlidae, Mastacembellidae, Cyprinidae, Alestidae et Distichodontidae). L'ichtyofaune est représentée par 18 genres comprenant chacun presque une espèce excepté le genre *Labeo*. Ces espèces sont *Clarias* sp., *Parauchenoglanis punctatus*, *Pollimyrus* sp., *Oreochromis niloticus*, *Mastacembellus congicus*, *Labeo lukulae*, *L. macrostomus*, 'Barbus' sp., *Bryconaethiops boulengeri*, *Brycinus* aff. *poptae*, *Pareutropius debauwi*, *Bagrus bajad*, *Bathybagrus graueri*, *Mormyrus caballus*, *Myomyrus* aff. *macrops*, *Marcusenius* sp., *Raiamas* sp., *Micralestes humilis* et *Distichodus altus*. L'habitat semble être le facteur qui influence la distribution des espèces dans la Lowa. Les Clariidae, Claroteidae, Bagridae, Schilbeidae et Mormyridae ont été collectés à des sites moins profonds, calmes, caractérisés par le limon comme substrat. Les Cyprinidae, Alestidae et Distichodontidae étaient collectés sur des stations avec le courant d'eau rapide, et proche de racines des macrophytes alors que les Mastacembellidae étaient collectés au niveau des stations avec racines des plantes submergées à la côte. Le Cichlidae était rare dans les captures. Il semble que certaines espèces soient limitées par des chutes en aval des stations de pêche.



1. INTRODUCTION

The Congo basin is the second in the world, after the Amazon basin according to its biodiversity and area. Its area is about $3,6 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ (Larake et al., 1993) with a particular endemism.

Indeed, up to 2008, 3240 fish species have been recognized in Africa (Lévêque et al., 2008). In the Congo basin, Teugels & Guégan (1994) estimated the number of described species to about 696 species. At present, Snoeks et al. (2011) estimate to about 1250 the number of fish species in this region but this number should be more important according to the fact that some parts of the region never been investigated (Lévêque, 1997; Lévêque & Paugy, 2006; Stiassny et al., 2007a). The Congo basin belongs among the ichthyological region less known despite of its importance in endemism rate and wide area (Teugels & Guégan, 1994; Lévêque, 1997; Lévêque & Paugy, 2006; Revenga & Kura, 2003 in Snoeks et al., 2011) in comparison of the western and lower Guinea ichthyofaunal provinces which are deeply known in Africa than other ichthyofaunal provinces (Paugy et al., 2003 a,b; Stiassny et al., 2007 a,b).

The background knowledge of Congo basin fish started with the expedition made by Boulenger (1901). Since, it was the first database of ichthyological studies in whole Congo basin. Overall, in the three parts of the Congo River (lower, middle and upper flows), the studies are scarce, disparate and mainly old. Between 1936 - 1979, some ichthyological studies were carried out within the first and second parts of the basin (see Fowler, 1936; Gosse, 1963; De Kimpe, 1964; Matthes, 1964; Gosse, 1968; Poll & Gosse, 1963; Banister & Bailey, 1979). Even in lower Congo the fish studies were restarted by Roberts & Stewart (1976) studying the ecological and systematic of rapids of freshwater fishes of lower Congo. Later, Mutambue (1984, 1992) followed and worked on the systematic, biology and ecology of fishes of Luki River. However, in lower and middle flows, some updates ichthyological studies can be recorded since the end of 20th century and the first decade of 21th century. The study of Tshibwabwa (1997) on the systematic of *Labeo*, the thesis of Ibala (2010) and Wamuini (2010) as well as Mbadu (2011) in middle and lower Congo about the diversity of Luki, Inkisi River and the update of systematic and ecology of *Distichodus* species in pool Malebo respectively. However, none update study on the fish of the upper Congo has been made except the old data above mentioned. The same case is observed in Lova basin in north-western of Goma town. Indeed, the Lova basin rivers fish were not studied yet. Only during the Marlier (1954) study on the ecological characteristics of eastern tropical rivers, he attempted the record of some species in one of the second-level tributary of Lova in the basin (Cinganda, tributary of Luwowo = tributary of Lova). In the manuscript, he paraphrased the presence of specimens of *Varhacorinius*, *Clarias* and some species of *Barbus* in this river.

The case of Lova River remains critically despite the fact that the Lova River is the main large-river and the sole tributary of the Congo River which flows in North-Kivu ie at the limit with the Nile basin. In this region, the Lova River is the main source of water resources and its fish fauna constitutes an important source of animal proteins for populations (Kisekelwa, 2012). In addition, the Lova River could shelter some endemic fish species given the waterfall and rapids and the accidental topography that characterize the river (and its basin) and which constitute natural barriers of fish dispersion in the basin. Unfortunately, this aspect does not been investigated while the demographic pressure on the natural resources in the region increases considerably.

In this study we present the results from preliminary observations on fish diversity of the Lova River for its good management. Indeed, the knowledge of the systematic of fishes is very important to solve questions of conservation and it is a key for the good management of the freshwater fish resources (McNeely, 2002).

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Study area

Samples were collected in Lova basin (fig. 1). Lova basin situated in Eastern of DRC shared between two provinces: (1) the North Kivu and (2) south Kivu provinces.



Fig. 1: Lova basin structure, top of the map (map Kisekelwa & Darchambeau, unpublished data).

In the map above, we showed only the centre of the basin from Nyassi village (Luwowo river) up to Osokari village (Osokari river) on the Kisangani road. The territory of Walikale in North-Kivu contains the major of the Lova basin and mainly the distance runs by the Lova River. Lova River is the right bank tributary of Congo River. It runs from mountain around Minova no far from South-Kivu and then flows in the forest of Masisi and Walikale in North-Kivu provinces. After, this river flows in the Congo River into Maniema province.

Samples of fish were collected in the Lova River in Walikale city. Walikale territory has a wide and dense forest.

The climate conditions are mainly influenced by the dense wet-forest. Almost, it rains during all year but during the year, we have the period of more rains and the period of less rains. June-August is the dry season but the period with less rain is between February-April and the most rains are between October-December. However, during the dry season, it is possible to record some rains.

The sampling stations were situated in upstream of Boboro waterfall but between the upstream and downstream of Walikale city. Walikale city is among the cities densely populated in the territory with almost the half of 600000 populations recorded in 2000 (Anonyme, 2007). The populations of Walikale are mainly depending to natural activities for their livelihood. The fishing by crafted methods are used in the region: inappropriate fishnets, the fish-hooks, fish-traps and application of toxic product of native plants...Almost of these methods used belong among the threats of freshwater fishes of Walikale and mainly of Lowa River.

2.2. Sampling program, data collection and statistical analysis

2.2.1. Sampling program

Samples were collected in February, July and September 2009 corresponding to small rain season, dry season and rain season. In this paper, we have not taken care of the temporal variation, but the overall diversity.

2.2.2. Samples collection, samples field and lab treatments

Fishnets, fish-traps, fish-hooks and craft tools of fishing have been used to collect fish samples (fig. 3). Different stations were chosen according to diversity of habitat in the region in order to collect the possible maximum of diversity (fig. 2). Overall, we found four main habitat types in the Lowa River. The first characterised by shallow water with a silt substratum and the quite water, the second characterised by rapid waters, stations near of macrophytes' roots and the station which is characterised by the mixing of sand and stony habitat. After each expedition and fishing, specimens of fish were selected among all fishes collected and then classified by family or genus. After, each group was kept in a jar containing formalin 10% for the preservation.



Fig. 2: General view of fishing stations in Lowa River

In lab, the first attempt of identification was carried out at Unité d'Enseignement et de Recherche en Hydrobiologie Appliquée (UERHA/ISP/Bukavu). The final identification has been possible at Royal Museum of Central Africa (RMCA) Tervuren Belgium. Different keys were used for identification (Thys Van Den Audernaede, 1964; Poll, 1967; Poll & Taverne, 1967; Paugy, 1986; Teugels, 1986; Poll & Gosse, 1995; Tshibwabwa, 1997; De Vos, 1999; Vreven, 2001; Norris, 2002; Geerinckx et al., 2004; Ibala, 2010; Stiassny et al., 2007).

We needed the details comparison between the specimens of *Marcusenius* collected in Lowa River and some valid species housed in RMCA in Belgium. So, according to Boden et al. (1997) twelve meristic counts and twenty seven measurements were taken in each specimen included in the comparison. However, one meristic count was incomplete and removed in the final analysis. The meristic counts are: (1) the number of scales on lateral line which included the dark vertical band (SDB) running between dorsal and anal fins. The number of dorsal-fin rays (DFR), anal-fin rays (AFR), pelvic-fin rays (PLFR), pectoral-fin rays (PCFR), both branched and unbranched rays have been gathered during the counting. Also, scales have been counted. The number of scales on the lateral line (SLL), we also verify whether the number of the scales around the caudal peduncle (SCP) is eight for each specimen. Three additional counts of scales were added. The number of scales rowed between the anterior base of the dorsal fin and the anterior base of the anal-fin (SDA), the number of scales rowed between anterior base of the dorsal-fin and the lateral line (SDL); the pierced scale of lateral line is not including. Finally, the number of scale rowed between the anterior base of the pelvic-fin to up, but the lateral line scale is excluded (SPL). The teeth in upper (TUJ) and lower jaws (TLJ) were counted. For the definition of the morphometric measurements, see Boden et al (1997).

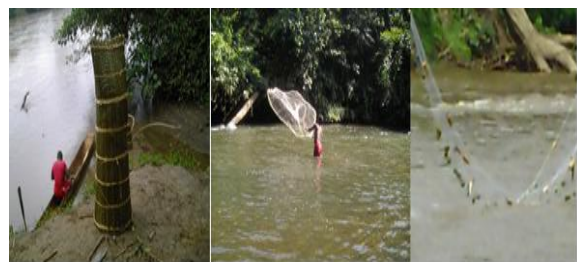


Fig. 3. Fishing gears (fishnets and fish-trap) used during the sampling of fishes in Lowa River.

2.2.3. Data statistical analysis

All data were submitted to Principal Component Analysis (ACP) for the comparison. The covariance matrix was used for the metric data after logarithmic transformation while the correlation matrix was used for the untransformed meristic counts data.

As the first component is the size factor, we left it and then considered now the second and the third components which are shape factor (Humphries et al. 1981; Bookstein et al., 1985). About untransformed data, only the first and second components were taken in comparison (Boden et al., 1997).

3. RESULTS

3.1. Specific fish composition

From 1474 specimens collected, nineteen species have been recognized. They belong to 7 orders (Siluriforms, Synbranchiforms, Osteoglossiforms, Perciforms, Cypriniforms and Characiforms) and 10 families: Clariidae, Schilbeidae, Bagridae, Claroteidae, Mastacembellidae, Mormyridae, Cichlidae, Alestidae, Cyprinidae and Distichodontidae (table 1).

Table 1: Specific composition of fishes in Lowa River

Order	Family	Genus	Species
Siluriforms	Clariidae	<i>Clarias</i>	<i>Clarias</i> sp.
	Schilbeidae	<i>Pareutropius</i>	<i>Pareutropius debaui</i> (Boulenger, 1900)
	Bagridae	<i>Bagrus</i>	<i>Bagrus bajad</i> (Forsskål, 1775)
	Claroteidae	<i>Parauchenoglanis</i>	<i>Parauchenoglanis punctatus</i> (Boulenger, 1902)
Osteoglossiforms	Mormyridae	<i>Bathybagrus</i>	<i>Bathybagrus graueri</i> (Steindachner, 1911)
		<i>Pollimyrus</i>	<i>Pollimyrus</i> sp.
		<i>Mormyrus</i>	<i>Mormyrus caballus</i> Boulenger, 1898
		<i>Myomyrus</i>	<i>Myomyrus</i> sp. aff. <i>macrops</i> Boulenger, 1914
		<i>Marcusenius</i>	<i>Marcusenius</i> sp.
Perciforms	Cichlidae	<i>Proochromis</i>	<i>Proochromis niloticus niloticus</i> (Linnaeus, 1758)
Synbranchiforms	Mastacembellidae	<i>Mastacembellus</i>	<i>Mastacembellus congicus</i> Boulenger, 1896
		<i>Labeo</i>	<i>Labeo lukulae</i> Boulenger, 1902
Cypriniforms	Cyprinidae		<i>Labeo macrostomus</i> Boulenger, 1898
		<i>Barbus</i>	<i>Barbus</i> sp.
		<i>Batamus</i>	<i>Batamus</i> sp.
Characiforms	Alestidae	<i>Bryconaeithops</i>	<i>Bryconaeithops boulengeri</i> Pellegrin, 1900
		<i>Brycinus</i>	<i>Brycinus affinis</i> <i>poptae</i> (Pelligrin, 1906)
		<i>Micralestes</i>	<i>Micralestes humilis</i> Boulenger, 1899
	Distichodontidae	<i>Distichodus</i>	<i>Distichodus altus</i> Boulenger, 1899

Except the genus *Labeo*, the other genera currently contain each one species. Within species *Parauchenoglanis punctatus* was the most abundant species in the capture. However, other species like *Bagrus bajad*, *Bathybagrus graueri*, *Marcusenius* sp. and *Mastacembellus* were very scarce during the sampling work.

Among the 7 orders collected, the Siluriforms were the most diversified with 40 % of the families. The Characiforms represented 20 % of the families. The Osteoglossiforms, Perciforms, Synbranchiforms and Cypriniforms have only 10 % of the families which is the equivalent of 1 family by order (fig. 4).

Within the ten families, the Mormyridae have 4 genera (24%), Alestidae have 3 genera (18%), Claroteidae with 2 genera (12%) while the other families were represented by only one genus (fig. 4).

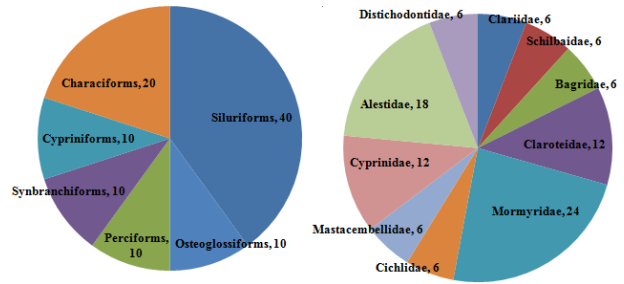


Fig. 4. Proportional representation of each order and -family

On the other hand, the pattern of family distribution within the stations is driven by the diversity of habitat (table 2).

Table 2: General characteristics of habitats of the Lowa River and trend of distribution pattern of the taxa

Taxon	Characteristics of habitats
Clariidae	Shallow with a silt-substratum and quite water
Claroteidae	
Bagridae	
Schilbeidae	
Mormyridae	Rapidwaters, close to the macrophytes roots and in sand-stony habitats
Cyprinidae	
Alestidae	Habitats near the roots of macrophytes
Distichodontidae	
Mastacembellidae	
Cichlidae	Scare in frequency

Indeed, Lowa River is among the large and turbulent river in the region. All Siluriforms (Clariidae, Claroteidae, Bagridae, Schilbeidae) shared the almost the same habitat as well as the Mormyridae fish. They have been collected in shallow with a silt-substratum and quite water. The Cyprinidae, Alestidae and Distichodontidae were distributed within the habitats which are in general similar.

Their trend was to colonize the stations with almost rapid waters and near to the macrophytes roots as well as the Mastacembellidae fish which was restricted almost near from the macrophytes station. The Cichlidae however, were scarce in capture and difficult then to be characterised by the simple method used in this study.

3.2. Taxonomic details analysis of *Marcusenius* sp.

The taxonomic identification of some species like *Marcusenius*, *Myomyrus* as well as the specimens of large *Brycinus* was fussy and more details analysis was required. In this study we attempted only details comparison between the specimens of *Marcusenius* collected in Lowa and some valid species of *Marcusenius* with eight large circumpeduncular scales housed in Royal Museum of Central Africa (RMCA) Belgium Tervuren because of the time available.

The morphometric comparison between the *Marcusenius* specimens of Lowa River and specimens of *Marcusenius intermedius* (Pellegrin, 1924) as well as *Marcusenius moorii* (Günther, 1867) when we considered the variance-covariance matrix showed the overlap between the three groups (fig. 5). It means that the general shape of the three groups may be similar. Nevertheless, this trend changed when we have considered the first vs second components (fig. 6).

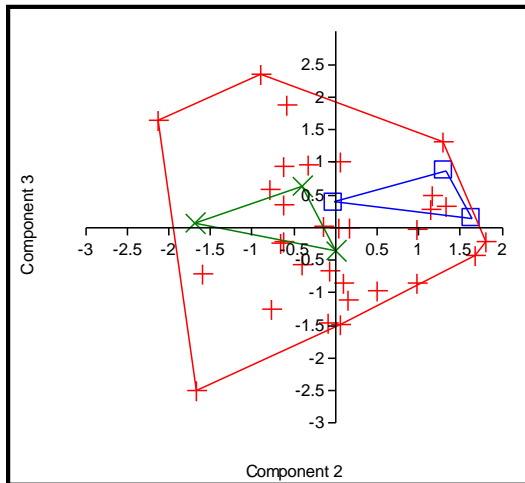


Fig. 5: Scatplot of component 2 vs component 3 of log-transformed metric data in percentage of all specimens of *Marcusenius* sp. (+), *Marcusenius intermedius* (X) and *Marcusenius moorii* (□).

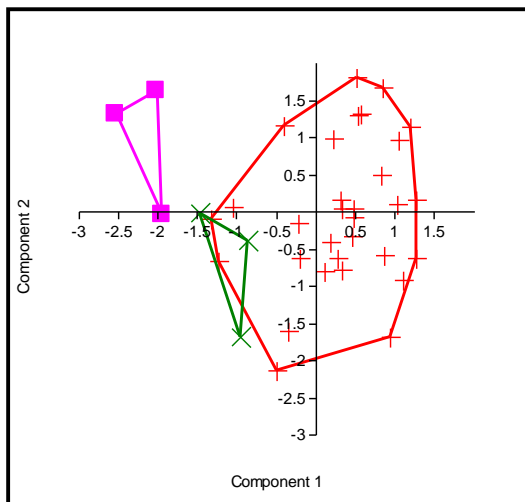


Fig. 6: Scatplot of component 1 vs component 2 of log-transformed metric data in percentage of all specimens of *Marcusenius* sp. (+), *Marcusenius intermedius* (X) and *Marcusenius moorii* (□).

However, the combination together of both the first and second components, shown an allometric difference (Fig. 6). Indeed, low morphometric difference in shape than in length between both the three groups was recorded. According to the figure 6, *Marcusenius* of Lowa River and *M. intermedius* overlapped while *M. moorii* was isolated. The explanation of this trend is that the size of *M. moorii* is greater than the specimens of Lowa River.

The analysis we made in correlation matrix of untransformed meristic data shown three different groups (fig. 7). The group one was the *Marcusenius* of Lowa River which took the positive and negative sides of second component, even the negative side of the first component. The both remain two groups; i.e *M. intermedius* as well as *M. moorii* were in negative side of first component.

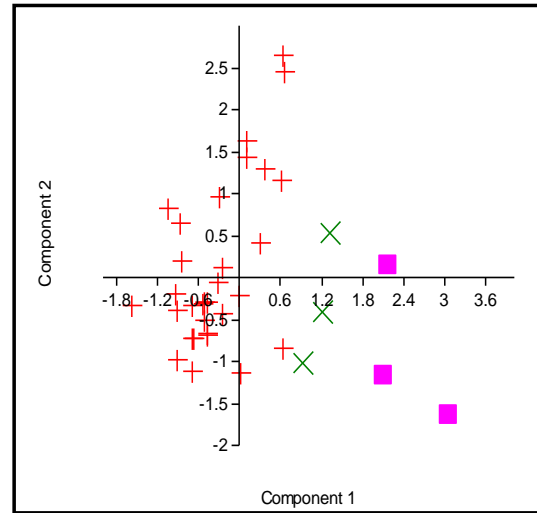


Fig. 7: Scatplot of first and second component of untransformed meristic data performed on *Marcusenius* sp. specimens (+), *M. intermedius* (X) and *M. moorii* (■).

Finally, the difference between Lowa *Marcusenius* specimens and the both valid specimens, i.e *M. intermedius* and *M. moorii*, might be possible. However, more analysis must be performed on the three groups in order to detect where difference can be located. We are going to carry out other details analysis in this case. Nevertheless, the difference in meristic count could be explained by the difference interval of scale number in lateral line, the number of dorsal-fin rays as well as the number of anal-fin rays; while the morphometric could probably be different in the body height.

4. DISCUSSION

During this study, 19 species were recognized. The number of species collected in Lowa River during this study was lower when we compared to other rivers of the Congo basin region like Inkisi with 61 species (Wamuini, 2010) and more than one 100 species in Lefini river (Ibala, 2010) within the Congo basin. The low number of our data is explained by the longer distance between our stations and the mouth of the Lowa River in Congo River. Marlier (1954) affirmed the richness of fish in tropical rivers. However, the diversity decreases when we attempt to reach the upstream. The migration of fish is usually from large River to their tributaries.

The distance of the sampling stations from the Congo River can explain the low number of species.

The accidental topography of Lowa basin could be an obstacle against the fish migration. Many waterfalls are distributed along the Lowa River course. According to the information collected to the fishermen, in Lowa course, no far from the sampling stations we can find two waterfalls. The first is situated in Boboro village and the second in Kanyama at around 75 km from our stations. The discontinuity created by the different waterfalls, is in the origin of the difference in characteristics of the up and down-streams which may change the diversity of fish in each side (Lévêque & Paugy, 2006). The same authors said, the difference in species is possible in up or down-streams and the endemism of species may be possible in upstream. Indeed, according to the importance of the waterfall, the fishes which developed in downstream could not reach up the upstream because of the presence of the waterfall (Lévêque & Paugy, 2006). Sometimes however, some species can escape the waterfall during the floodwater (Vreven, pers. com). According to own observations and fishermen experiences, *Marcusenius* sp. and *Myomyrus aff. macrops* can be only found in upstream of Boboro waterfall while the specimens of *Synodontis* and *Malapterurus* (not caught in upstream of Boboro waterfall) can be only collected in downstream. The number of species was important in Inkisi and Léfini, probably because of the increasing of number of habitats and an important gear net used during the sampling expeditions. In addition, we doubt the fact that we can find waterfall along the course of the rivers sampled before their mouths in Congo River. We hope that in the next the number of sheltered species in Lowa basin will increase as we are going to improve the sampling gears which have not used yet.

During the sampling expedition, the specimens of *Parauchenoglanis punctatus* (Siluriforms, Claroteidae) were abundant in number of capture. It appears that, this species has a large distribution in Lowa basin and her speciation may be comparable to *Clarias gariepinus* (siluriforms: Clariidae), the one which has a large distribution in the whole Congo basin probably because of her speciation in the whole basin (Chocha, 2010).

The specimens of fish collected in Lowa were represented by the orders usually collected in the tropical rivers (Mc Connell, 1987). The Siluriforms, Osteoglossiforms, Cypriniforms, Characiforms etc. belong among the most and abundant orders in the tropical rivers. The Mormyridae was more diversified than other families with 4 genera. The Mormyridae are among the important families and endemic fish in Africa (Hopkins et al., 2007).

The orders composition can be comparable to Ogooué basin as has been found by Mbega (2003). However, in this case, the Perciforms were among the more diversified order probably because of the number of lentic ecosystems which have been explored in his study.

The Mormyridae and Alestidae were diversified in number of genus. The both families are among the abundant family in the world (Mbega, 2003).

The details analysis about *Marcusenius* sp. specimens showed difference between specimens of *M. moorii* and very close to *M. intermedius*. The PCA performed on metric and meristic data show an overlap between the three species. However, we cannot now confirm whether the Lowa specimens belong to another new species. Indeed, the overall shape shows that, *Marcusenius* sp. of Lowa could be similar to *Marcusenius intermedius*. Indeed, *M. intermedius* was described by Pelligrin since 1924 and only one specimen was only used during the description of this species. If the result in this paper is later conformed, it is possible to update the taxonomy status of *M. intermedius*. Boden et al. (1997) doubt with the systematic status of *M. intermedius* because of the low number of recognized specimens of this species.

Finally, the pattern of conservation must be established according to different recognized species in the region and the pattern of habitat occupation. We must before all attempt of conservation, recognize the fact that some species like *Marcusenius* sp., *Myomyrus aff. macrops*, *Bagrus bajad* and *Bathybagrus graueri*, were scarce in the capture. The restriction of these species for their conservation must be applied in case of emergency.

We had no data about the correlation between the habitat and each species, so we cannot suggest a better pattern of conservation. However, we are sure that, in the future we will provide the best model of conservation according to the data of species richness and habitat occupation. The specific status of some species must be confirmed in this context for more conclusions.

As said Mc Neely (2002), a better collaboration must be established between taxonomists and conservationists. Then, the conservationists can suggest the pattern of conservation according to the results of taxonomy.

5. CONCLUSION

During this study, nineteen species were collected belonging to 6 orders, 10 families and 18 genera. Almost of all the genera were monospecific except the genus *Labeo* and probably the *Barbus* group. The different species collected are *Clarias* sp., *Parauchenoglanis punctatus*, *Pollimyrus* sp., *Oreochromis niloticus*, *Mastacembellus congicus*, *Labeo lukulae*, *L. macrostomus*, 'Barbus' sp., *Bryconaethiops boulengeri*, *Brycinus aff. poptae*, *Pareutropius debauwi*, *Bagrus bajad*, *Bathybagrus graueri*, *Mormyrus caballus*, *Myomyrus aff. macrops*, *Marcusenius* sp., *Raiamas* sp., *Micralestes humilis* and *Distichodus altus*. The species richness appears to be relatively low.

The habitats characteristics and waterfalls are the factors which drive the distribution of the fishes in Lova River.

The taxonomic status of some species as *Marcusenius* sp. required more details analysis to confirm her specific membership. The PCA performed on *Marusenius* specimen of Lova River, *M. intermedius* and *M. moorii*, allowed the likeness between *Marcusenius* specimens of Lova River and *M. intermedius*. Other analysis are needed and then apply on the both groups in order to locate where difference could be found between them.

ACKNOWLEDGEMENT

We grateful Prof. Dr. Jos Snoeks of KUL as well as Dr Emmanuel Vreven both curators of fishes at RMCA for their contribution in grant accorded in Belgium stay during 2 months in 2010 as well as the fact that they allow my introduction in ichthyology field. Prof. Dr. Kaningini Mwenyimali and Dr. Masilya Mulungula both of UERHA ISP/Bukavu are grateful for their comments and different contributions improving the quality of this study. My colleagues Hyangya as well as Wembo, please receive my grateful four your contributions during our study stay in Bujumbura.

REFERENCES

Anonyme (2007) . Cahier de charges des communautés locales du territoire de Walikale à présenter à la conférence sur la paix, la sécurité et le développement des provinces du Nord-Kivu et du Sud-Kivu. Goma-Nord-Kivu, RDC, 47P.

Banister K. E & Bailey R. G. (1979) . Fishes collected by the Zaïre river expedition 1974-1975. *Zool. J. Linn. Soc.*, 66(3): 205-249.

Bookstein F., Chernoff B., Elder R., Humphries J., Smith, G. & Strauss, R. (1985) . Morphometrics in Evolutionary Biology. Philadelphia: *Academy of Natural Sciences of Philadelphia Special Publication* 15.

Boulenger G. A. (1901) . Les poissons du bassin du Congo. Publications de l'Etat indépendant du Congo, 532P.

Chocha M. A. (2010) . Evolutionary genetics of the catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) in the Congo basin. Ph D thesis, *FUNDP*, 115P.

De Kimpe P. (1964) . Contribution à l'étude hydrobiologique du Luapula-Moero. *Ann. Mus.r. Afr. centr.*, in 8°, 12, 238P.

De Vos L. (1995). A systematic revision of the African Schilbeidae (Teleostei, Siluriformes). *Musée Royale de l'Afrique Centrale de Tervuren et Annales des sciences zoologique*, N° 271, P. 450.

Fowler H. W. (1936). Zoological results of the George Vanderbilt African expedition of 1934. III. The freshwater fishes. *Proc. Acad. Nat. Sci. Philad.*, 88 : 243-335.

Geerinckx T., Adriaens D., Teugels G. G. & Verraes W. (2004) . A systematic revision of the African catfish genus *Parauchenoglanis* (Siluriformes: Claroteidae). *Journal of Natural History*, 38, 775-803.

Gosse J. P. (1963) . Le milieu aquatique et l'écologie des poissons dans la région de Yangambi. *Ann. Mus. r. Afr. centr., Sci. Zool.*, 116 : 113-271.

Gosse J. P. (1968) . Les poissons du bassin de l'Ubangui. *Ann. Mus. r. Afr. centr., Doc. Zool.*, 13 : 1-56.

Hopkins C. D., Lavoué S. & Sullivan J. P. (2007) . Mormyridae, pp. 220-234. In: Stiassny L.J.M., Teugels G.G. & Hopkins D.C., eds. *Poissons d'eaux douces et saumâtres de la basse Guinée, ouest de l'Afrique Centrale*, Vol. 1. Institut de recherche pour le développement (IRD) (Paris, France), Musée national d'histoire naturelle (MNHN) (Paris, France) & Musée Royal de l'Afrique Centrale (MRAC) (Tervuren, Belgium), 800 p.

Humphries J. M., Bookstein F. L., Chernoff C., Smith G. R., Elder R. L. & Poss S. G. (1981). Multivariate discrimination by shape in relation to size. *Systematic Zoology* 30, 291– 308.

Ibala Z. A. (2010) . Faune des poissons des rivières Luki et Lefini : Diversité et écologie. Thèse de Doctorat, *K.U. L.*, PP1-100.

Kisekelwa T. (2012) . Contribution à la connaissance de l'ichtyofaune des rivières Lova et Elila à l'Est de la RDC. Mémoire Master, *Université du Burundi*, 58P.

Lalarque A., Bricquet J. P., Olivry J. C. & Berthelot M. (1993) . Export of matter from the Congo River (PEGI Programme). First intern. *Symp. on Perspectives for Environmental Geochemistry in Tropical Countries*, Niteroi, Brazil. 13P.

Lévêque C. & Paugy D. (2006) . Les poissons des eaux continentales africaines: diversité, écologie et utilisation par l'homme. *IRD*, Paris, 564P.

Lévêque C. (1997). Biodiversity dynamics and conservation : the freshwater fish of tropical Africa, *Cambridge University Press*, New York, 438P.

Lévêque C., Oberdorff T., Paugy D., Stiassny M. L. J. & Tedesco P. A. (2008) . Global diversity of fish (Pisces) in freshwater. *Hydrobiology*, 595, 547-567.

Marlier G. (1954). Recherches hydrobiologiques dans les rivières du Congo orientale. Institut pour la Recherches Scientifiques en Afrique Centrale, 40P.

Matthes H. (1964). Les poissons du lac Tumba et de la région d'Ikela. *Ann. Mus. r. Afr. centr. Sc. Zool.*, 126, 204 p.

- Mbadu Z. (2011). Diversité des espèces du genre *Distichodus* du Pool Malebo (Fleuve Congo) et mécanismes d'exploitation de leurs niches trophiques. Thèse de Doctorat, *Université de Kinshasa*, 362P.
- Mbalassa M. (2008). An ecology study of fish Ishasha river in the Virunga park, Albertine Rift Valley (Eastern DR Congo) Master, *Makerere University*, pp 1-90.
- Mbega J. (2003). Biodiversité des poissons du bassin inférieur de l'Ogooué. Thèse de doctorat, FUNDP, *Namur*, PP 1-324.
- Mc Neely J. A. (2002). The role of taxonomy in conserving biodiversity. *J. Nat. of Cons.*, 10. 145-153.
- Mc Connell L.R.E. (1987). Ecological Studies in Tropical Communities. *Cambridge University Press*, 1-382 pp.
- Mutambue S. (1984). Contribution à l'étude de l'écologie de la rivière Luki (sous-affluent du Fleuve Zaïre) : Bassin versant Poissons. Thèse de doctorat 3^{ème} Cycle : Université Paul Sabatier, Toulouse (France), 213P.
- Mutambue S. (1992). Le bassin de la Luki (Zaïre) et son aménagement. Systématique, biologie et écologie de sa faune piscicole. Thèse de doctorat : Université Paul Sabatier, Toulouse (France), 335P.
- Norris S. M. (2002). A revision of African electric catfishes, family Malapteruridae (Teleostei, Siluriformes), with erection of a new genus and descriptions of fourteen new species, and an annotated bibliography. *Ann. Zool. du MRAC-Tervuren, Belgique*, 155 p.
- Paugy D. (1986). Révision systématique des *Alestes* et *Brycinus* africains (Pisces, Characidae). Collection Etudes et thèses, *ORSTOM*, Paris, 295P.
- Paugy D., Lévêque C., & Teugels G. G. (2003). The fresh and brackish water fishes of west Africa. [Poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest.]. The fresh and brackish water fishes of west Africa v. 1: 1-457.
- Paugy D. Lévêque C. & Teugels G. G. (2003). The fresh and brackish water fishes of West Africa. [Poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest.]. The fresh and brackish water fishes of west Africa v. 2: 1-815.
- Pelligrin J. (1924). Description de Mormyridés nouveaux récoltés au Congo Belge par le Dr. Schouteden. *Rev. Zool. Afr.*, XII. 1.
- Poll M. & Gosse J. P. (1963). Contribution à l'étude systématique de la faune ichtyologique du Congo central, *Ann. Mus. Roy. Afr. Cent.*, n°116, Tervuren, pp: 45 – 110.
- Poll M. (1967). Révision des Characidae nains Africains. MRAC, Tervuren, Ann. Série 8, Sciences zoologiques n° 162, P. 158.
- Poll M. & Taverne L. (1967). Description d'une espèce nouvelle de *Myomyrus* du Bas-Congo. *Rév. Zool. Bot. Afr.*, 76, 1-2.
- Poll M. & Gosse J. P. (1995). Genera des poissons d'eau douce de l'Afrique. Académie royale de Belgique, Classe des Sciences, Tom IX, 3ème série.
- Roberts T. R. & Stewart D. J. (1976). An Ecological and Systematic survey of Fishes in rapids of the lower Zaïre or Congo River, *Bull. Mus. Comp. Zool.*, 147 (6): 239-317.
- Snoeks J., Harrison I. J. & Stiassny M. L. J. (2011). The status and distribution of freshwater fishes, pp 42-91 in Darwall W., Smith K., Allen D., Holland R., Harrison I. et Brooks E. ed.: *The Diversity of life in African Freshwaters: Underwater, under threat; An analysis of the status and distribution of freshwater species throughout mainland Africa*. Red List, IUCN, 364P.
- Stiassny M. L. J., Teugels G. G. & Hopkins C. D. (2007). Poissons d'eaux douces et saumâtres de la basse Guinée, ouest de l'Afrique centrale. Vol. 1, IRD, MNHN, MRAC, col. Faune et flore. 42, 800P.
- Stiassny L. J. M., Teugels G.G. et Hopkins D.C. (2007). Poissons d'eaux douces et saumâtres de la basse Guinée, ouest de l'Afrique Centrale, Vol. 2. Institut de recherche pour le développement (IRD) (Paris, France), Musée national d'histoire naturelle (MNHN) (Paris, France) et Musée Royal de l'Afrique Centrale (MRAC) (Tervuren, Belgium), 603P.
- Teugels G.G. (1986). A systematic revision of the African species of the genus *Clarias* (Pisces; Clariidae). *Mus. Afr. Cent, sc. Zool.*, 199P.
- Teugels G.G. & Guegan J. F. (1994). Diversité biologique des poissons d'eaux douces de la basse Guinée et de l'Afrique Centrale in Teugels et al. (eds). Diversité biologique des poissons des eaux douces et saumâtres d'Afrique. Synthèses géographiques. Symposium Paradis. *Ann. Mus. Roy. Afr. Centr., Zool.*, 275 : 67 – 85.
- Thys Van Den Audernaede D. F. E. (1964). Révision systématique des espèces congolaises du genre *Tilapia* (Pisces, Cichlidae). *Ann. Ser. In -8°, n° 124, MRAC*, P. 155.
- Tshibwabwa S. (1997). Systématique des espèces africaines du genre *Labeo* (Teleostei, Cyprinidae) dans les régions ichtyologiques de basse Guinée et du Congo, TOME I, Thèse de doctorat, *Namur*, pp 1-310
- Vreven E. (2001). A systematic revision of the African spiny-eels (Mastacembelidae; Synbranchiformes). Thèse de doctorat, *KUL*, Volume 1-7, 1-2000 pp.
- Wamuini-Lunkayilakio S. (2010). Ichtyofaune de l'Inkisi (Bas-Congo / RDC): diversité et écologie. Thèse de doctorat, *Académie Universitaire Wallonie-Europe-Ulg*, 304P.



Impacts des pratiques rizicoles en vigueur au Burundi sur l'environnement

H. Nusura, R. Sibomana, B. Habonimana, J. Bigirimana,

Université du Burundi, Faculté des Sciences Agronomiques
BP 2940 Bujumbura-Burundi; hnusura@hotmail.com

Reçu: le 11 Avril 2013

Accepté: le 20 Octobre 2013

Publié: le 4 Novembre 2013

RESUME

Mots-clés : Riziculture, pratiques culturelles

Afin de contribuer au développement durable des systèmes rizicoles au Burundi, nous avons procédé à une étude des effets des pratiques rizicoles sur l'environnement. Cette étude a été menée dans 6 périmètres rizicoles en zones de basse et moyenne altitude sur base de données collectées par des observations sur terrain, des réunions participatives et une enquête auprès de 180 ménages rizicoles. Les résultats obtenus ont permis de montrer que l'introduction et l'extension de la pratique de la riziculture s'est faite au détriment de certaines espèces végétales et animales sauvages. Et tout au long du cycle de la culture de riz, plusieurs risques et dégâts environnementaux peuvent être signalés. L'érosion est accrue après le labour, le risque d'attraper la malaria augmente à cause des pépinières de riz. Les dispositifs inadéquats de lutte antiérosive, d'irrigation et de drainage provoquent des dégâts à l'environnement. Ainsi, dans plus de 50 % des cas, l'eau d'irrigation est insuffisante ou en excès, avec des risques de lessivage des intrants et de transmission des maladies entre les parcelles, et le phénomène de salinisation. La manière dont les fertilisants et les pesticides sont utilisés constitue une menace à l'environnement et la santé humaine : un usage hasardeux, le non respect du moment d'application et de la dose adéquate. La pratique du gardiennage est effectuée sans aucune norme et perturbe l'équilibre des écosystèmes. Cependant, certaines pratiques culturelles qui ont été observées peuvent constituer un atout important : la jachère, la rotation et les précédents culturaux. Une bonne exécution de ces pratiques, un soutien aux riziculteurs et le renforcement de leurs capacités dans la gestion intégrée des intrants agricoles et de l'eau sont des conditions requises pour le développement durable de la riziculture au Burundi.

ABSTRACT

Key-words: Rice, farming practices

To contribute to the sustainable development of rice-based systems in Burundi, we conducted a study of the effects of rice production practices on the environment. This study had involved six rice growing perimeters in low and medium altitude. Data had been collected by field observations, participatory meetings and a survey based on 180 rice producer households. The results have shown that the introduction and expansion of rice production was done at the expense of some wild plant and animal species. And throughout the cycle of rice cultivation, several environmental risks and damages can be reported. Erosion is increased after land tillage and the risk of catching malaria is high due to rice nurseries. Inadequate methods of erosion control and irrigation/drainage destroy the environment. Thus, in 50% of cases, irrigation water is insufficient or excessive. That increases the risks of salinisation, inputs leaching, diseases transmission between rice plots. The way fertilizers and pesticides are used is a threat to the environment and human health: hazardous spreading, for any other species, at a not suitable time and with inappropriate doses. The practice of guarding is provided without standard and disturbs the ecosystems. However, some cultural practices that have been observed can be an important asset for the protection of the environment: fallow, rotation and taking into account previous cropping. Proper implementation of those practices, support for rice producers, capacity building in integrated inputs and water resources management, are prerequisites for sustainable development of rice production in Burundi.



1. INTRODUCTION

Dans un pays comme le Burundi qui vient de sortir de la guerre civile, l'amélioration du niveau de la sécurité alimentaire dans les ménages ruraux nécessite le développement du secteur agricole qui fait vivre 90% de la population. Le riz est l'une des cultures stratégiques pour le développement du secteur agricole pour plusieurs raisons. Cette culture joue un grand rôle dans l'équilibre alimentaire. En effet, parmi les céréales, le riz a le rendement alimentaire le plus élevé par hectare (Juliano, 1994). Dans les pays où la riziculture est pratiquée, elle constitue l'une des principales sources de revenu (Trébuil et Hossain, 2004). De par sa grande diversité (McCouch et al., 2012), le riz peut contribuer à l'adaptation aux changements climatiques. Il existerait en effet près de 500 000 variétés traditionnelles et entre 5 000 et 10 000 variétés nouvellement créées (McNally, 2010). La zone de culture de ces différentes variétés de riz s'étend des régions tropicales jusqu'aux régions tempérées (les zones dont la période sans gèle dépasse 130 jours), de 53° de latitude Nord à 40° de latitude Sud (Brink et Belay, 2006). Elles sont rencontrées à des altitudes variées, depuis le niveau de la mer jusqu'à 1 700 m pour l'espèce d'origine africaine *O. Glaberrima* et jusqu'à 2 500 m pour l'espèce d'origine asiatique *Oryza Sativa* (Sie, 1989; Brink et Belay, 2006). La diversité du riz lui confère l'avantage d'être produit sous plusieurs systèmes de cultures. En considérant la technique d'alimentation en eau en l'occurrence, quatre systèmes distincts existent : la riziculture irriguée qui est caractérisée par une maîtrise de l'alimentation en eau, la riziculture inondée sans maîtrise d'eau, la riziculture flottante qui suit la crue des fleuves ainsi que la riziculture pluviale qui dépend uniquement de la pluviométrie (Courtois, 2007).

Les diverses qualités du riz expliquent son adoption rapide au Burundi, surtout après l'introduction de la riziculture dans les marais d'altitude dans les années 1980. Ainsi, les calculs que nous avons effectués à partir des statistiques du MINAGRIE (2006) montrent qu'entre 1990 et 2005, l'indice de production a progressé de 100 à 170 pour le riz alors qu'il s'est réduit de 100 à 73 pour le maïs et de 100 à 67 pour le haricot.

Actuellement au Burundi, la production du riz est réalisée en riziculture irriguée ou inondée dans les plaines et les marais d'altitude, et en riziculture pluviale sur les collines. Il importe cependant de s'interroger sur la durabilité de ces systèmes rizicoles. Il faut faire attention à certaines pratiques rizicoles qui peuvent, en cas de mauvaise application, nuire à l'environnement en général et à la santé humaine en particulier. L'objectif du présent article est d'apporter une contribution en la matière en analysant les effets des principales pratiques rizicoles en vigueur au Burundi sur l'environnement. Les objectifs spécifiques poursuivis sont les suivants :

- Analyser les défis, des dangers et les dégâts environnementaux liés aux pratiques rizicoles.
- Identifier les atouts des pratiques rizicoles pour l'environnement et proposer des voies d'amélioration.

2. METHODOLOGIE

La méthode utilisée a consisté en la récolte des données bibliographiques et statistiques suivie par une descente sur terrain. Celle-ci a concerné 6 périmètres rizicoles (Mugerero, Gatakwa, Akagoma I, Akagoma II, Munywero aménagé, Munywero non aménagé) répartis dans trois régions naturelles: Imbo, Buyenzi et Kumoso (Tableau 1). L'usage de plusieurs techniques a été nécessaire: des observations sur terrain, des réunions participatives et une enquête individuelle détaillée, menée auprès de 180 ménages rizicoles tirés au hasard avec l'appui des agents de terrain. L'encodage et l'analyse des données ont été réalisées à l'aide des logiciels Excel et Minitab.

La récolte des données spécifiques à l'état de l'environnement autour des périmètres rizicoles a avait pour but de constater si les bassins versants attenants aux périmètres sont protégés contre l'érosion, source d'envasement et de destructions des champs rizicoles. Le Ministère burundais en charge de l'Environnement préconise en effet que pour un hectare de marais aménagé, il faudrait aussi aménager 5 ha sur les collines surplombant le marais.

Tableau 1: Périmètres rizicoles ciblés par le projet

Nom du périmètre/marais	Région naturelle	Commune/Province	Aménagé ou non
Gatakwa	Imbo	Rumonge / Bururi	Non
Mugerero	Imbo	Gihanga / Buzanza	Oui
Akagoma I	Buyenzi	Ngozi / Ngozi	Non
Akagoma II	Buyenzi	Ngozi / Ngozi	Oui
Munywero non aménagé	Kumoso	Gisuru / Ruyigi	Non
Munywero aménagé	Kumoso	Gisuru / Ruyigi	Oui

3. PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

La production rizicole exige une série d'activités qui doivent être mises en place. La méthode d'exploitation rizicole en vigueur dans les périmètres d'études est de type traditionnel. Elle comprend la préparation du terrain (défrichage, labour, émiettement, nivellement), pépinière qui dure 30 à 34 jours, irrigation/drainage, fertilisation, plantation à raison de 1 à 5 plantules par poquet, application des pesticides, gardiennage, récolte, etc. Comme les pratiques visant l'amélioration des productions rizicoles sont variées, leurs effets sur l'environnement le sont aussi.

3.1. Problèmes environnementaux liés à l'exploitation des terres

3.1.1. Exploitation des terres pour la riziculture et ses conséquences sur l'environnement

Les périmètres rizicoles qui ont fait objet de cette étude sont divers du point de vue de leur statut juridique et de leur mode d'aménagement. Toutes les terres de la zone d'études comme d'ailleurs tous marais du Burundi appartiennent à l'Etat ou aux individus qui les exploitent depuis longtemps conformément au code foncier. Dans tous les cas, les terres des marais ne peuvent pas être enregistrées par les exploitants, elles sont uniquement régies par le droit coutumier (alinéa 2 de l'article 444). Face à ce statut particulier, les riziculteurs ne peuvent consentir que des investissements à court terme dans les périmètres rizicoles. Il est difficile de les impliquer dans des investissements à long terme de protection de ces périmètres comme la terre qu'ils exploitent ne leur appartient pas. Il importe d'ajouter aussi que le régime foncier peut également constituer un frein à la protection des bassins versant car l'article 444 du code foncier stipule que : « Les marais exploités appartiennent à celui qui les a mis en valeur et non à celui à qui appartient la terre du bassin versant ou du bas-fond dont ils constituent le prolongement ».

Les deux zones de basses altitudes (Kigwena et Mugerero) sont sous le contrôle des institutions étatiques. Les sols du marais de Gatakwa en zone Kigwena de la commune Rumonge sont répartis en deux périmètres ; un sous la gestion de l'Office de l'Huile de palme du Burundi (OHP en sigle) et un autre sous la gestion du Projet d'intensification Agricole en communes Rumonge, Burambi et Buyengerero (PIA RUBUBU en sigle). Son exploitation a débuté en 1960 et a été étendue en 1978 par la Société Régionale de Développement de Rumonge ou SRD Rumonge en sigle (devenue OHP). Les terres ont été subdivisées en blocs nommés *paddocks* qui ont été attribués par après aux agriculteurs en vue d'en jouir en qualité d'emphytéotes. Les bananerais et les palmerais ont été arrachés (OAG, 2004) et remplacés par la culture de riz.

Les terres de Mugerero en commune Gihanga sont sous le contrôle de la Société Régionale de Développement de l'Imbo (SRDI en sigle). Leur aménagement a été fait de 1968 à 1973 dans le cadre du Projet FED-IMBO sur financement de l'Union Européenne. Au début des aménagements, le périmètre de Mugerero avait été subdivisé en trois zones selon les utilisations de la ressource terre à savoir la riziculture, la polyculture et les boisements. Les zones à bois étaient occupées par des espèces comme *Acacia* sp., *Eucalyptus* sp., *Pinus* sp., *Terminalia* sp., *Cupressus* sp., etc. Malheureusement, l'expansion de la culture du riz de part sa contribution au revenu a fait que ces espaces boisés soient toutes anarchiquement transformés en zones rizicoles après déboisement et dessouchage des plantes qui s'y trouvaient. Il n'y a actuellement aucune trace de ces arbres.

Les sols de moyennes altitudes (marais d'Akagoma I et Akagoma II de Ngozi et Munywero de Gisuru) ne sont pas gérés par aucune société étatique ; elles sont par contre occupées par des riziculteurs qui les ont drainées de leur propre initiative. Les marais de Ngozi (Akagoma I et Akagoma II) ont été drainés et mise en valeur autour des années 1960 sous les encouragements des autorités locales ; chacun s'appropriait et exploitait la superficie qu'il pouvait drainer. Le marais d'Akagoma II d'une superficie de 72 ha a été aménagé sous le financement de PRASAB et est actuellement exploité par 2600 ménages. Le marais de Munywero anciennement occupé par *Cyperus papyrus* (urufünzo) a commencé à être drainé en 1990. Une partie de ce marais d'une superficie de plus ou moins 30 ha a été aménagée par l'ONG Action Contre la Faim (ACF en sigle). Dans tous les cas, le drainage et la mise en valeur des marais ont modifié fortement l'écologie en provoquant la disparition des espèces sauvages qui y trouvaient l'abri et la nourriture. Il est aussi à rappeler qu'un drainage mal fait peut conduire à l'assèchement des marais.

3.1.2. Exploitation des terres autour des périmètres rizicoles

L'exploitation des bassins versants a des conséquences environnementales qui se répercutent sur les périmètres rizicoles adjacentes. La protection de l'environnement autour des périmètres rizicoles a été appréciée par observations et enquêtes. L'existence de l'érosion a été signalée par 41 % des enquêtés (tableau 2). Cette érosion se manifeste sous différentes formes : rigoles, ravines et ravins. Comme on pouvait s'y attendre, aucune forme d'érosion n'a été signalée ni observée à Gihanga, site situé dans la plaine de l'Imbo.

Selon la même enquête, les causes de cette érosion sont le déboisement (déforestation) et des pratiques culturelles non appropriées.

Dans certains sites comme à Rumonge, les coupes illicites liées à la mauvaise gouvernance environnementale ont été à l'origine du déboisement pendant la crise socio-politique de 1993.

Dans les périmètres rizicoles, une des principales conséquences de l'érosion sur les collines est l'envasement des marais qui se produit en saison pluvieuse, avant la récolte et conduit ainsi à une diminution des productions. Cet envasement est signalé par 41 % des enquêtés et comme pour l'érosion, si on exclut Gihanga, ce chiffre monte à 50 %.

Les résultats montrent également que quelle que soit la forme de l'érosion (rigoles ou ravines) et la

gravité de la pente, les méthodes de lutte les plus utilisées sont les fossés aveugles et les haies vives herbacées. Ce dernier type de dispositif anti-érosif devrait être limité à des sols perméables et à des pentes faibles inférieures à 20% (Roose, 1990). Bien plus, la plupart des riziculteurs proposent des méthodes qui n'attaquent pas le problème en amont (bassins versants attenants aux périmètres rizicoles). Ils veulent agir à l'échelle de la parcelle. Cette solution n'est pas durable. L'intégration des arbres est absolument indispensable. Cela peut se faire soit sous forme d'agroforesterie en renforçant les structures de haies anti-érosives déjà existantes, soit par le reboisement (micro-boisement familiaux ou boisement collectifs sur sommets dénudés).

Tableau 2: Fréquence du constat de l'érosion autour des périmètres rizicoles et de l'envasement des marais

Sites	Erosion		Envasement des marais		
	Nombre de cas	Proportion	Nombre de cas	Proportion	
Gihanga (aménagé)	0	0%	0	0%	
Rumonge (non aménagé)	15	50%	15	50%	
Ngozi aménagé	15	50%	16	53%	
Ngozi non aménagé	23	77%	18	60%	
Gisuru aménagé	11	37%	10	33%	
Gisuru non aménagé	11	37%	15	50%	
Les périmètres aménagés	Fréquence/90	26	29%	26	29%
	IC 95%	-	[20;39]%	-	[20;39]%
Les périmètres non aménagés	Fréquence/90	49	54%	48	53%
	IC 95%	-	[44;65]%	-	[43;64]%
Tous les périmètres	Fréquence/180	75	42%	74	41%
	IC 95%	-	[34;39]%	-	[34;39]%

3.2. Problèmes environnementaux constatés aux différents stades du calendrier cultural du riz

3.2.1. Risques et menaces environnementaux liés à la préparation du terrain et l'installation des pépinières

Dans tous les sites visités, la préparation du terrain rizicole consiste, en un défrichage, un labour profond, un émiettement et un nivellement se faisant à l'aide des houes. Le calendrier cultural de ces activités varie d'un site à un autre : de septembre à décembre pour Mugerero, de septembre à janvier pour Munywero, de octobre à février pour Akagoma et de août à novembre pour Gatakwa. Le danger de ces activités est qu'elles mettent le terrain à nu durant la période pluvieuse, l'exposant ainsi à l'érosion. La FAO (2001) nous renseigne sur l'existence de techniques de labour zéro pour les cultures de riz et de blé, contribuant à la lutte contre la perte en terre et la dégradation des sols :

- au lieu de labourer, protéger le sol contre les mauvaises herbe et le soleil par un tapis d'herbe et de feuilles mortes;
- semer sans labour avant la récolte de la culture précédente (en système de rotation culturale);
- planter entre des sillons ou sur des billons établis pour une période de moyen terme.

Au niveau des pépinières, le semis se fait à la volée dans des plates-bandes préalablement préparées avec les houes. Chez certains agriculteurs, le labour et le repiquage se font successivement dans un même mois, ce qui nécessite, par conséquent de préparer la pépinière un peu avant le labour. Les pépinières sont préférentiellement établies dans les marais où on obtient des plantules vigoureuses, mais quelquefois on les installe tout près des ménages. Dans ce dernier cas, la pépinière doit être protégée pour empêcher les animaux de brouter les jeunes plantules. Le problème à signaler ici est que les moustiquaires sont couramment utilisées pour clôturer ces pépinières au lieu d'être utilisées dans la protection des membres des ménages contre les moustiques, vecteurs du paludisme.

3.2.2. Problèmes environnementaux liés aux pratiques d'irrigation et de drainage

Comparativement aux autres cultures, la culture de riz exige d'énormes quantités d'eau (de Marsily, 2008). Pour combler ces besoins, l'irrigation est généralement indispensable. Cette dernière est une opération qui consiste à apporter artificiellement de l'eau aux cultures pour permettre un développement normal en cas de déficit d'eau de pluies ou d'une baisse du niveau de la nappe phréatique.

On distingue plusieurs techniques d'irrigation (Rieul et Ruelle, 2003 ; FAO, 2005), mais celle qui est utilisée dans les sites étudiés est l'irrigation gravitaire. Ce type d'irrigation est le plus ancien et aurait débuté 5000 ans avant Jésus Christ (Rieul, 1996). Elle consiste à barrer l'eau du cours naturel et la conduire jusqu'aux périmètres rizicoles sous le simple effet de la gravité aux moyens des canaux et rigoles. L'un des inconvénients de cette méthode est que la déviation de l'eau de son cours habituel s'accompagne de la perte de vie des espèces aquatiques en aval du barrage.

Les observations faites sur terrain ont montré que les aménagements effectués sont déficients. La partie aménagée du marais de Munywero n'a pas de drains, l'eau de drainage se déverse directement dans le cours d'eau. Il n'y a pas non plus de digues ni diguettes. Le site d'Akagoma II est aménagé en quatre périmètres. Cet aménagement consiste en une série de déversoirs qui ont été placés en travers du cours d'eau. Toute l'eau est dirigée vers un périmètre amont en vue de l'irrigation. L'eau de drainage qui en sort est par la suite barrée pour servir d'irrigation au périmètre suivant et ainsi de suite. Cela est dû au fait que l'aménagement de ce marais ne s'est pas accompagné de son remembrement. Chaque exploitant a gardé sa parcelle, compliquant ainsi les travaux de canalisation. C'est ainsi qu'il y a une totale absence de diguettes dans le marais. Les parcelles sont séparées par de petits morceaux de bois qui servent de limites. Ainsi donc, lorsque l'eau est envoyée dans une parcelle, elle suit son chemin vers les autres parcelles jusqu'à retrouver le lit principal du cours d'eau. Pour le cas des périmètres rizicoles de Mugerero, les problèmes de drainage ont été observés. La non maîtrise de l'eau d'irrigation dans les périmètres irrigués possède plusieurs répercussions.

Il s'agit avant tout du problème de disponibilité de l'eau qui a été signalé dans tous les périmètres. Pour plus de 50% des riziculteurs, la quantité d'eau d'irrigation est insuffisante ou excédentaire (tableau 3).

Signalons qu'il y a un gaspillage de cette ressource qui fait que, dans certains cas, les parcelles en aval n'ont pas assez d'eau alors qu'elle est en excès dans les parcelles en amont.

A l'intérieur de chaque parcelle, l'irrigation non contrôlée entraîne la destruction des cultures à cause des inondations, le lessivage des engrais (les nitrates plus solubles) et pesticides entraînant une pollution des eaux souterraines, des rivières et des lacs par ruissellement et/ou par infiltration. Une bonne gestion de l'eau d'irrigation permet de limiter les problèmes liés à l'érosion dans les parcelles.

Dans les sites d'étude, même dans les zones dites aménagées, la non maîtrise de la gestion de l'eau en général et des techniques appropriées de drainage en particulier fait que l'eau passe d'une parcelle à une autre, aggravant le risque de transmission des maladies des parcelles en amont aux parcelles en aval.

Dans le périmètre de Mugerero, le climat sec et l'insuffisance de l'eau d'irrigation accentuent le problème de salinité. Pour pallier à l'insuffisance de l'eau d'irrigation, certains riziculteurs se servent de l'eau de drainage en provenance de l'exploitation directement en amont, et même en provenance des zones abandonnées suite à la salinité. Dans les périmètres rizicoles sous l'irrigation, la percolation des eaux nettoie le sol de surface riche en sels, alors qu'en période d'absence d'irrigation des cas de remontées capillaires formant des couches blanchâtres (icūhiro) à la surface du sol après évaporation de l'eau sont courants dans cette région.

Du côté santé humaine, la stagnation de l'eau dans les casiers rizicoles et le développement des végétaux dans les canaux secondaires ou tertiaires font qu'il y ait prolifération des mollusques vecteurs de la bilharziose et des moustiques vecteurs du paludisme, première cause de mortalité au Burundi (République du Burundi, 2009).

Tableau 3: Répartition des ménages enquêtés selon le degré de disponibilité de l'eau dans les parcelles rizicoles

Périmètres		Insuffisante	Suffisante	En excès
Gihanga (aménagé)		60%	40%	0%
Rumonge (non aménagé)		30%	50%	20%
Ngozi (aménagé)		27%	60%	13%
Ngozi (non aménagé)		30%	60%	10%
Gisuru (aménagé)		30%	63%	7%
Gisuru (non aménagé)		77%	20%	3%
L'ensemble des périmètres aménagés	Proportion	29%	58%	13%
	IC 95%	[20;39]%	[47;68]%	[7;22]%
L'ensemble des périmètres non aménagés	Proportion	56%	40%	4%
	IC 95%	[45;66]%	[30;51]%	[1;11]%
Tous les sites	Proportion	42%	49%	9%
	IC 95%	[35;50]%	[41;56]%	[5;14]%

IC 95% = Intervalle de confiance au seuil de 95%

3.2.3. Risques environnementaux liés à la pratique de la fertilisation minérale

L'intensification de la riziculture implique l'augmentation des intrants agricoles nécessaires pour augmenter et stabiliser les rendements. Les cultures prélèvent dans le sol des substances nutritives dont elles ont besoin. En cas de non remplacement de ces éléments, les sols finissent par s'appauvrir, ce qui entraîne la baisse de la production. Le recours aux engrais minéraux est l'une des options envisagées pour apporter au sol un complément nécessaire pour restaurer la fertilité et augmenter les productions. Dans les sites d'études, la fréquence d'utilisation des fertilisants minéraux varie selon les sites et selon le type d'engrais (tableau 4). Par ordre d'importance d'utilisation, les engrais sont rangés comme suit : Urée (42% des riziculteurs), DAP (25,6% des riziculteurs), NPK (16,7% des riziculteurs) et KCl (5,6% des riziculteurs).

Les riziculteurs de Mugerero sont conscients que la riziculture sans engrais n'est pas rentable dans leur périmètre. Les engrais les plus utilisés dans ce site sont

l'urée (93,3% des riziculteurs) et le NPK (86,7% des riziculteurs) achetés chez les commerçants (96,4% des riziculteurs) ou donnés par l'ISABU (3,6% des riziculteurs). A Rumonge, les engrais sont absents dans les boutiques et aux marchés, et très peu d'agriculteurs utilisent ces fertilisants en riziculture. Seul le projet PIA RUBUBU assure la fourniture des engrais et produits phytosanitaires dans cette région. 30% de ménages ont déjà utilisé en riziculture l'urée achetée au kiosque de PIA RUBUBU. A Akagoma, en 2010, on a procédé à l'usage des engrais (DAP, KCl, Urée) sous la recommandation de la FAO qui en a assuré la fourniture. Dans la partie aménagée, c'est l'urée qui est le plus utilisé (53,3% des riziculteurs) tandis que dans la partie non aménagée vient en tête le DAP (60% des riziculteurs). Munywero reste un site où la fertilisation minérale en riziculture est moins connue. En effet, l'application des engrais est absente sur toute la partie non aménagée de ce site et chez 70% des ménages de la partie aménagée (les 30% restants utilisent l'urée et le DAP donnés par l'ACF). Partout où les engrais sont utilisés en pépinière, l'épandage à la main reste la seule méthode d'application.

Tableau 4: Fréquence-d'utilisation d'engrais minéraux en riziculture

Site	Urée		DAP		NPK		KCl		
	Effectif	Proportion	Effectif	Proportion	Effectif	Proportion	Effectif	Proportion	
Gihanga	28	93.3%	2	6.7%	26	86.7%	0	0%	
Rumonge	11	36.7%	3	10%	2	6.7%	1	3.3%	
Ngozi aménagé	16	53.3%	14	46.7%	2	6.7%	8	26.7%	
Ngozi non aménagé	11	36.7%	18	60%	0	0%	1	3.3%	
Gisuru aménagé	9	30%	9	30%	0	0%	0	0%	
Gisuru non aménagé	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	
TOTAL	Effectif et Proportion (/180)	75	42%	46	26%	30	17%	10	6%
	IC 95%	-	[34;39]%	-	[19;33]%	-	[12;23]%	-	[3;10]%

IC 95% = Intervalle de confiance au seuil de 95%

De façon globale, les engrais sont plus utilisés dans les périmètres aménagés qu'ailleurs et beaucoup plus dans les sites de la région d'Imbo que dans les autres sites (tableaux 5 et 6). Ainsi la quantité moyenne d'engrais utilisée par exploitant, est de 50 kg dans le périmètre de Mugerero, 18 kg dans le marais de Gatakwa, 2 kg dans les marais d'Akagoma, inférieure à 1 kg dans les marais de Munywero. L'urée est la source principale des nitrates solubles. Elle est facilement lessivable, l'azote étant alors très mobile dans le sol. Elle doit être apportée en quantité suffisante et au moment propice dans le cycle de la culture.

Vu le faible niveau de gestion de l'eau d'irrigation par les riziculteurs, il est clair qu'une partie des fertilisants est emportée par l'eau d'irrigation.

Ces substances chimiques constituent une menace pour l'environnement. En effet, les nitrates qui sont très solubles peuvent ruisseler dans les eaux de surface ou infiltrer pour atteindre la nappe phréatique. Une concentration excessive de ces substances chimiques (azote et phosphore) dans l'eau peuvent conduire à l'eutrophisation des ruisseaux et rivières à débits lent, des étangs piscicoles et des lacs. Ce phénomène fait que les algues vertes se multiplient à la surface de l'eau réduisant ainsi l'infiltration de la lumière et de l'oxygène dans l'eau et induisant la production des toxines dangereux aux êtres vivants aquatiques, au bétail et à l'homme. La pollution de la nappe phréatique par ces éléments représente un grand risque pour la santé humaine.

Tableau 5: Les quantités d'engrais utilisés par exploitation et la part du riz

Sites	Urée (kg)		DAP (kg)		NPK (kg)		KCL (kg)		Tous les engrais		
	Expl.	Riz	Expl.	Riz	Expl.	Riz	Expl.	Riz	Expl. (kg)	Riz (kg)	Part du riz
Gihanga (aménagé)	25,7	23,7	4,2	2,5	25,7	23,6	0,0	0,0	55,5	49,8	90%
Rumonge (non aménagé)	9,6	9,6	2,5	2,5	5,8	5,8	0,0	0,0	18,0	18,0	100%
Ngozi aménagé	1,1	0,9	1,9	0,4	1,2	0,4	0,3	0,2	4,5	1,9	42%
Ngozi non aménagé	2,0	1,7	4,0	1,8	0,2	0,0	0,1	0,0	6,3	3,5	56%
Gisuru aménagé	0,4	0,4	1,0	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0	1,7	1,0	62%
Gisuru non aménagé	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
Périmètres aménagés	9,1	8,3	2,4	1,2	9,0	8,0	0,1	0,1	20,5	17,6	86%
Périmètres non aménagés	3,9	3,8	2,2	1,4	2,0	1,9	0,0	0,0	8,1	7,2	89%
Tous les périmètres	6,5	6,1	2,3	1,3	5,5	5,0	0,1	0,0	14,3	12,4	86%
kg											
Part du riz	-	94%	-	57%	-	90%	-	57%	-	-	-

Exploit. = Exploitation

Tableau 6: Les quantités d'engrais utilisés par unité de surface

Sites		Urée	DAP	NPK	KCl	Total
Gihanga (aménagé)		81,3	5,5	74,2	0,0	161,0
Rumonge (non aménagé)		10,3	3,6	3,8	0,0	17,7
Ngozi aménagé		18,0	8,6	3,2	7,1	36,9
Ngozi non aménagé		38,3	33,6	0,0	0,0	71,9
Gisuru aménagé		19,8	14,8	0,0	0,0	34,6
Gisuru non aménagé		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Les périmètres aménagés	Moyenne	39,7	9,6	25,8	2,4	77,5
	Ecartype	88,7	47,6	55,9	12,5	143,1
Les périmètres non aménagés	Moyenne	16,2	12,4	1,3	0,0	29,9
	Ecartype	42,1	37,0	8,5	0,0	69,0
Tous les périmètres	Moyenne	28,0	11,0	13,5	1,2	53,7
	Ecartype	70,2	42,5	41,8	8,9	114,5

3.2.4. Conséquences de la pratique de la fertilisation organique sur l'environnement

Actuellement, l'utilisation du fumier en riziculture semble être une pratique non courante dans les sites qui ont fait objet de cette étude du fait qu'elle est absente dans plus de 70% des parcelles des périmètres rizicoles (tableau 7). Par ordre d'importance, les types de fumiers utilisés à travers tous les zones d'études sont rangés comme suit : fumier de chèvre (17,2% des

riziculteurs), fumier de vache (13,3% des riziculteurs), fumier de poule (2,2% des riziculteurs), fumier de lapin (2,2% des riziculteurs) et fumier de mouton (0,6% des riziculteurs). Les sites qui prennent le devant dans l'utilisation du fumier sont par ordre d'importance Akagoma II (28,4% des riziculteurs), Rumonge (26,9% des riziculteurs), Akagoma I (19,4% des riziculteurs) et Gihanga (16,4% des riziculteurs). Le fumier de chèvre a une part importante dans tous les sites excepté Ngozi qui utilise en premier lieu le fumier de vache.

Tableau 7: Fréquence d'utilisation de différents types de fumier en riziculture

Sites	Fumier de					
	lapin	vache	mouton	chèvre	porc	poule
Gihanga	0	2	0	9	0	0
Rumonge	1	4	1	8	1	3
Ngozi aménagé	0	12	0	6	1	0
Ngozi non aménagé	3	5	0	5	0	0
Gisuru aménagé	0	1	0	1	0	0
Gisuru non aménagé	0	0	0	2	1	1
Effectif total	4	24	1	31	3	4
Proportion/180	2%	13%	1%	17%	2%	2%
IC 95%	[1;6]%	[9;19]%	[0;3]%	[12;24]%	[0;5]%	[1;6]%

L'utilisation du compost en riziculture semble aussi être une pratique non courante. Le compost est plus appliqué à Ngozi qu'ailleurs (Tableau 8). En effet, sur 47 cas d'application du composte en riziculture, Ngozi seul (Akagoma I et Akagoma II) compte 29 cas soit 61,7%. Le compost utilisé est de quatre natures du point de vue composition: débris végétaux + épiluchure (17,2%), pseudotronc + épiluchure (4%), pseudotronc + débris végétaux+ épiluchure (2,8%) et fumier + pseudotronc + épiluchure (1,7%).

La fertilisation organique est très importante du fait qu'elle permet une restitution progressive des éléments nutritifs exportés par les cultures. De plus, elle améliore les propriétés physiques (perméabilité du sol) et chimiques (rôle de tampon pour le PH, accroissement de

la capacité d'échange cationique) du sol et enfin elle stimule la vie microbienne du sol. Cependant, certains éléments (comme les nitrates, les phosphates et les éléments se présentant sous forme de traces) libérés par des amendements organiques sont, en cas de non utilisation par les plantes, sources de pollution des eaux souterraines et des eaux des cours d'eau. Dans tous les sites d'études, la fertilisation organique se fait par épandage à la main ou par simple enfouissement avec la houe. L'épandage surtout du fumier de ferme fait qu'une partie d'azote se volatilise dans l'air sous forme de divers composés à savoir l'ammoniac (NH_3), le méthane (CH_4) ou le protoxyde d'oxygène (N_2O). Ces composés sont parmi les principaux gaz à effet de serre, responsables des changements climatiques.

Tableau 8: Fréquence d'utilisation de différents types de compost en riziculture

Sites	Fumier+ Pseudotronc+ Epluchures	Débris végétaux+ Epluchures	Pseudotronc+ Epluchures	Pseudotronc+ Débris végétaux+ Epluchures
Gihanga	0	3	0	0
Rumonge	0	3	0	0
Ngozi aménagé	0	8	7	3
Ngozi non aménagé	1	8	0	2
Gisuru aménagé	2	2	0	0
Gisuru non aménagé	0	7	1	0
Effectif total	3	31	8	5
Proportion/180	2%	17%	4%	3%
IC 95%	[0;5]%	[12;24]%	[2;9]%	[1;6]%

3.2.5. Risques environnementaux liés à l'application des produits phytosanitaires

Les produits phytosanitaires sont des substances chimiques minérales ou organiques destinées à protéger les cultures contre les organismes nuisibles. Leur application se fait à l'aide des pulvérisateurs à dos pendant les phases de végétation. Bien qu'ils aient des effets plus ou moins rapides sur les agresseurs des cultures, ils ne sont pas sélectifs. Ils agissent sur les agents pathogènes, les vecteurs des maladies ou les ravageurs, mais agissent aussi sur les prédateurs naturels des espèces dangereuses aux cultures ou sur d'autres espèces très utiles pour l'environnement. Lors de la pulvérisation, les pertes en diverses directions varient suivant l'état de développement des cultures, le réglage du pulvérisateur, la composition du produit utilisé et les conditions météorologiques. Les eaux de pluie, la vitesse et la direction du vent jouent un rôle important dans la propagation des pesticides à l'échelle de la surface cultivée mais aussi sur les habitats naturels voisins non visés par les traitements. La pulvérisation des pesticides en riziculture dans un monde qui ne contrôle pas l'eau d'irrigation constitue une source importante de pollution de l'eau, de l'air et du sol, ce qui occasionne des effets indésirables pour l'homme et pour l'environnement.

Le niveau d'utilisation des pesticides dans les sites d'études diffère d'un endroit à un autre, et d'un fermier à un autre. En effet, sur un total de 70 cas d'utilisation des pesticides, la plaine de l'Imbo en compte 57, soit 81,4% (périmètre de Mugerero avec 57,1% et périmètre de Gatakwa avec 24,3%). Ces produits sont plus utilisés dans les aires aménagées qu'ailleurs. Le Kitazin (16,7%), Benlate (11,1%) et Dithane (5,6%) sont les pesticides les plus utilisés en riziculture (tableau 9). Le traitement des plantules avant repiquage ne se fait qu'à Gihanga et à Rumonge. Il consiste en habillage et en utilisation des pesticides comme le kitazin à Mugerero ; le benlate, dithane, simicidine et l'agro-malon à Gatakwa pour tuer les ravageurs et lutter contre les maladies.

Il est aussi important de remarquer que les riziculteurs enquêtés utilisent des pesticides au hasard et sans se soucier des doses adéquates. Un exemple éloquent a été observé dans les périmètres rizicoles de Mugerero où le benlate et le kitazin sont les principaux produits pulvérisés. Ils servent à éviter la fonte de semis ou en cas de fanaison des feuilles. Cependant, 40% des agriculteurs utilisent aussi le benlate pour lutter contre les rats et les oiseaux ravageurs du riz.

Au site de Gatakwa, alors que le kitazin est utilisé pour lutter contre la pyriculariose, le dithane y est utilisé pour tuer les ravageurs du riz. Ce cas apparaît aussi dans les périmètres aménagés de Ngozi où 2/5 d'utilisations de dithane se font en cas d'attaques aux chenilles qui ravagent les feuilles. Les autres l'utilisent en cas de fanaison en pleine floraison ou en cas de stérilité des épillets. Dans les périmètres non aménagés de Ngozi, le seul agriculteur qui applique le benlate l'utilise en cas de toute attaque de son riz sans distinction aucune. De même à Gisuru, tous les quatre utilisateurs du kitazin l'utilisent en n'importe quelle type d'attaque du

riz et 50% d'entre-eux précisent qu'ils l'utilisent aussi pour tuer les insectes du riz.

Le non respect de la dose, du moment favorable d'application et du type de produit qui répond mieux à l'attaque des cultures montre que même si ces pesticides ne sont pas encore utilisés de façon intensive dans la production rizicole, des dégâts sur l'environnement existent déjà. Les résidus de ces pesticides dans les récoltes, dans l'eau, dans le sol et dans l'air sont très néfastes. Ce cas qui mérite une attention particulière semble être généralisé même pour d'autres cultures autres que le riz.

Tableau 9: Fréquence d'utilisation de différents types produits phytosanitaires en riziculture

Produits	DDT	Dithane	Diméthoate	Benlate	Kitazin	Dursuban	Cotalm	Orthène	Agromalon	Simicidine
Gihanga	0	0	1	16	18	2	2	1	0	0
Rumonge	0	5	0	2	7	1	0	0	1	1
Ngozi aménagé	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Ngozi non aménagé	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Gisuru aménagé	0	0	0	1	5	0	0	0	0	0
Gisuru non aménagé	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Effectif total	1	10	1	20	30	3	2	1	1	1
Proportion/180	1%	6%	1%	11%	17%	2%	1%	1%	1%	1%
IC 95%	[0;3]%	[3;10]%	[0;3]%	[7;17]%	[12;23]%	[0;5]%	[0;4]%	[0;3]%	[0;3]%	[0;3]%

3.2.6. Problèmes environnementaux en rapport avec la pratique de gardiennage

Les animaux les plus observables dans les périmètres rizicoles et qui sont visés par les gardiens du riz sont les oiseaux et les petits mammifères de la famille des Muridae.

Lors du gardiennage contre les oiseaux, on se sert des cordes vibrantes, des objets sonores et/ou des épouvantails en tissus fabriqués à l'image d'une personne pour faire peur aux oiseaux. Des cailloux et des lance-pierres s'utilisent aussi pour les éloigner du champ ou même pour les tuer à cause des dommages qu'ils occasionnent. En effet, *Quelea quelea* qui est l'oiseau résident et sporadiquement migrateur de l'Est et Afrique centrale surtout en période de maturation du riz, est une espèce causant beaucoup de dégâts dans les cultures du riz (Ntakimazi *et al.* 2000) et qui est chassé pour ce fait. D'autres espèces d'oiseaux qui jouent un rôle majeur dans la chasse des insectes du sol ravageurs du riz sont actuellement menacées par des chasseurs et par les gardiens qui les tuent par des pièges installés dans les rizières afin d'avoir cette manne naturelle. L'exemple est celui des oiseaux de l'espèce *Bubulcus ibis* (inyange) qui tendent à disparaître suite à leur viande qui est actuellement consommée.

Les mammifères visés par les gardiens sont principalement l'aulacode (inkezi: *Thryonomys swinderianus*), la souris rayée (imênde: *Lemniscomys striatus*) et le rat des champs (imbeba: *Aethomys hindei*).

Ils rongent les plantes de riz à leurs passages et les gardiens les tuent en mettant de part et d'autre du champ des pièges constitués par des appâts contenant du poison sec ou frais. Ce poison peut contaminer les eaux et les sols et causer l'intoxication de diverses espèces animales et des hommes.

3.2.7. Exportation des matières nutritives après la récolte

Bien que le niveau de réalisation des activités rizicoles diffère d'un site à un autre, elles se font presque au même moment dans tous les sites, excepté Rumonge où ces activités se font un peu avant. La récolte est faite en coupant les plants quand le champ atteint la maturité (au moins 90% des plantes sont à ce stade), sauf dans le marais d'Akagoma où la récolte est sélective et progressive: on trie les épillets à maturité et on les récolte pour limiter les cas de vol en champs. En général, au moment de la récolte, les agriculteurs coupent toutes les plantes avec des serpettes et/ou faucilles, puis font le battage au champ sur des bâches et enfin, transportent le paddy frais dans des sacs et/ou dans des paniers sur la tête et/ou sur vélo. La paille quant à elle est par après utilisée dans le paillage des tomates ou vendue à ceux qui les utilisent dans les étables. Sachant que dans le champ, les plantes prélèvent une quantité importante d'éléments minéraux pour produire des substances organiques, il revient à dire qu'à la récolte différents éléments fertilisants sont exportés hors de la parcelle avec le paddy et la pailles, et cela contribue dans l'appauvrissement du sol, étant donné que la fertilisation des champs rizicoles n'est pas très courante au Burundi.

3.3. Atouts environnementaux de certaines pratiques culturelles

Les pratiques culturelles qui peuvent contribuer à la protection de l'environnement des périmètres rizicoles sont constituées par la jachère, la rotation, l'association des cultures et les précédents culturels. Les résultats relatifs à ces pratiques sont synthétisés dans le tableau 10.

- **Mise en jachère de la terre**

Dans l'ensemble des sites étudiés, la jachère est pratiquée par 26 % des agriculteurs. D'énormes disparités existent entre les différents sites: dans les périmètres rizicoles de Gisuru, situé dans la région du Kumoso, la fréquence de mise en jachère des terres est supérieure à 50 %, alors qu'elle est inférieure à 10 dans les périmètres de Ngozi et de Gihanga, la jachère est plus pratiquée dans le Kumoso parce que des terres agricoles inexploitées y sont encore disponibles.

La jachère favorise la prolifération de la faune et de la flore sauvage qui y tirent de la nourriture et constitue ainsi un véritable abri (Floret et Pontanier 2000). Elle permet ainsi de lutter contre l'érosion et de reconstituer des éléments nutritifs du sol après une culture. Contrairement à la fertilisation organique, la jachère restaure la fertilité du sol sans le polluer et sans causer de dégâts.

- **Association des cultures**

L'association de la culture de riz avec les autres cultures concerne 13 % des agriculteurs enquêtés. C'est une pratique faite dans le cas de la riziculture pluviale, à Rumonge et dans le Kumoso (à Gisuru). Dans les marais, le riz est généralement cultivé en pure.

- **Rotation culturale, précédents culturels et assolement**

La rotation des cultures est une pratique courante dans les périmètres rizicoles. Elle a été signalée par 70% des agriculteurs enquêtés. Elle est le plus rencontrée dans les sites de Ngozi et de Gihanga. Les riziculteurs font généralement un seul cycle de production de riz qui couvre normalement la saison culturale B. La culture de riz est alors suivie, en saison C par des légumes et des Céréales telles que le maïs, des légumineuses telles que le haricot et des tubercules tels que la patate douce.

Mais dans certaines parties des marais inondées en permanence, la riziculture est pratiquée au cours de la saison C, à partir de juillet puisqu'ils sont trop submergés durant la saison B. Ces endroits ne peuvent comporter que la culture de riz, en saison C, lorsque la hauteur d'eau diminue.

Pour bien jouer le rôle de protection contre la dégradation du sol et limiter le développement des agents pathogènes, la rotation doit prendre en considération les précédents culturels et être combinée à un système d'assolement approprié. Signalons cependant que, généralement, les mêmes cultures succèdent à la culture de riz de façon répétitive sur une même parcelle, sans assolement sans tenir compte des précédents culturels.

- **Gestion intégrée des intrants**

Le type de gestion intégrée connue dans les sites enquêtés est la combinaison des fertilisants minéraux et du fumier qui a été rapportée par 13% des agriculteurs.

Tableau 10: La fréquence de certaines pratiques culturelles et les cultures concernées

Site	Association culturale		Rotation culturale et précédents culturels		Jachère	Combinaison des intrants dans le temps	
	Fréq.	Cultures	Fréq.	Cultures	Fréq.	Fréq.	Intrants
Gihanga	16,7	-	86,7	riz/maïs, patate douce	10	40	-
Rumonge	3,3	Riz+ manioc+ maïs	46,7	riz/maïs, patate douce, tomate	26,7	16,7	Pesticides+ engrais + fumier
Ngozi aménagé	0	-	100	riz/maïs, haricot, pomme de terre	6,7	10	engrais+ fumier
Ngozi non aménagé	0	-	100	riz/maïs, haricot, pomme de terre	0	13,3	engrais+ fumier
Gisuru aménagé	13,3	Riz+ niébé, maïs	26,7	riz/maïs, haricot, pomme de terre, patate douce, éleusine	56,7	0	-
Gisuru non aménagé	46,7	Riz+ manioc, banane, patate douce	60	Riz/haricot, manioc, patate douce, choux, bananes, amarante	53,3	0	-
Tous les sites	Fréq. 13%	-	70%	-	26%-	13%	-
	IC 95% [9;19]%		[63;77]%		[19;33]%	[9;19]%	

Fréq. = Fréquence

4. CONCLUSION

La culture du riz exige une série d'activités qui doivent être maîtrisées afin de garantir un bon rendement. Cependant, la plupart des pratiques rizicoles en vigueur en basse et en moyenne altitude du Burundi présentent sur le plan environnemental des dangers dont on ne peut pas faire fi, au moment où le pays vit dans la nécessité d'intensifier cette culture. Signalons d'abord que la mise en valeur des terres rizicoles s'accompagne généralement des déboisements (cas de Mugerero) ou déforestation mettant en danger les espèces animales et végétales qui y tiraient profit.

Le manque de contrôle de l'eau d'irrigation et de drainage fait que certains agriculteurs canalisent l'eau d'irrigation dans leurs parcelles sans aucun suivi. Cela constitue un gaspillage de cette ressource occasionnant ainsi l'érosion des éléments nutritifs et des pesticides qui vont polluer le milieu aquatique et environnant. D'autres riziculteurs se servent de l'eau de drainage pour irriguer leurs parcelles, même dans les périmètres de Mugerero qui souffrent de la salinité. Cela conduit à la chute de rendement suite non seulement à la transmission des maladies et ravageurs, mais aussi à l'accumulation rapide des sels en surface.

L'application des engrais minéraux en riziculture se fait principalement dans les périmètres rizicoles de Mugerero, tandis que la fertilisation organique se fait principalement à Ngozi. Dans tous les cas, l'épandage à la main est le mode d'application le plus utilisé. Sachant que la gestion de l'eau n'est pas correctement assurée dans les périmètres rizicoles, ce mode d'application augmente des pertes en fertilisants. Une partie très soluble constituée surtout des nitrates et phosphates est emportée par l'eau vers la nappe souterraine ou vers les rivières et lacs, exposant au danger tous les êtres vivants utilisant cette eau (y compris l'homme). Une autre partie (surtout d'azote) pollue l'air en se volatilisant sous forme de composés à savoir l'ammoniac (NH_3), le méthane (CH_4) ou le protoxyde d'oxygène (N_2O). Ces produits sont parmi les principaux gaz à effet de serre, responsables des réchauffements climatiques.

Après la récolte, la paille du riz est utilisée dans d'autres parcelles pour pailler des tomates ou dans les étables. Tenant compte que la fertilisation des terres rizicoles n'est pas très courante dans certaines zones, cette exportation d'éléments nutritifs s'ajoutant aux pertes dues à l'érosion affecte négativement la fertilité du sol.

Les riziculteurs ne sont pas assez informés sur l'utilisation des produits phytosanitaires. En effet, des cas d'application des pesticides qui ne correspondent pas à l'attaque et sans suivre les règles de dosage ont été enregistrés dans tous les sites.

Etant donné que la gestion de l'eau d'irrigation et de pluies n'est pas encore maîtrisée et que la pulvérisation reste le seul mode d'application connu de ces produits, la lutte chimique constitue une source importante de pollution de l'eau, de l'air et du sol, ce qui représente une menace pour l'homme et pour l'environnement en général. De plus, les pesticides utilisés ne sont pas sélectifs. Ils agissent non seulement sur les organismes visés par le traitement, mais aussi sur les organismes très utiles non visés par le traitement. Nous avons aussi constaté que les produits utilisés dans les appâts lors du gardiennage. S'agissant du gardiennage sont des poisons qui occasionnent la mort de pas mal d'espèces animales, les bons et les mauvais.

Un nombre très restreint de riziculteurs utilisent des pratiques culturales, qui, une fois appliquées correctement, contribueraient à la restauration de la fertilité du sol et à la lutte contre les maladies sans faire recours aux engrais et pesticides. Il s'agit de la jachère améliorée, l'assolement, la rotation culturale, l'association culturale, la combinaison des fertilisants organiques, etc.

Les pratiques destinées à protéger les bassins versants autour des périmètres rizicoles, constituées par les fossés et les haies antiérosives, sont insuffisantes étant données l'état de délabrement des collines.

Les pratiques rizicoles défectueuses rencontrées dans les six zones d'études reflètent un besoin urgent d'améliorer le niveau de formation et d'encadrement des riziculteurs. Les riziculteurs ont besoins d'être formés sur la gestion intégrée des intrants agricoles tels que l'eau d'irrigation, les fertilisants organiques, les engrais chimiques et les produits phytosanitaires: les types de produits appropriés, les bonnes combinaisons à effectuer, le bon moment et la bonne localisation de l'application ainsi que les doses recommandées. Ils doivent aussi savoir que l'épandage des fertilisants en surface occasionnent beaucoup de risques sur l'environnement et que l'enfouissement serait le plus recommandé. Par ailleurs, une personne qui fait l'épandage du fumier à la main est exposé aux microorganismes pathogènes surtout si ce fumier est encore frais. Elle devrait porter des gants, se laver les mains régulièrement et utiliser du fumier bien décomposé.

Les capacités des riziculteurs doivent être renforcées en matière de gestion durable de l'eau dans et autour des périmètres rizicoles. Dans les périmètres souffrant de salinité, il faut prévoir un drainage adapté réduisant des remontées capillaires. Dans tous les périmètres rizicoles, la pratique d'irrigation avec les eaux des drains est à éradiquer. Il serait aussi intéressant de tester les techniques de labour zéro ou quasi-zéro là où c'est nécessaire et possible.

Enfin, des méthodes efficaces de protection des collines autour des périmètres rizicoles doivent être adoptées notamment la pratique d'agroforesterie et le reboisement de certains espaces.

Pour limiter certaines pratiques dangereuses pour la santé humaine, une réglementation sera indispensable notamment l'instauration du principe pollueur-payeur et le paiement des droits à la pollution. Les instances communales peuvent se charger de l'application des mesures réglementaires et du contrôle.

REMERCIEMENTS

Le présent document est le fruit d'un travail réalisé par l'équipe de la Faculté d'Agronomie (FACAGRO) de l'Université du Burundi grâce à un financement du Centre Canadien de Recherche pour le Développement International (CRDI).

BIBLIOGRAPHIE

Brink, M. & Belay, G. (2006) *Les céréales et les légumes secs*. Fondation PROT /Back Huys Publishers/CTA, Wageningen, Pays Bas, 328 pp.

Courtois, B. (2007) *Une brève histoire du riz et de son amélioration génétique*, Cirad, France, 13 pp.

FAO (2001) *Labour zéro: lorsque moins veut dire plus*. Focus 2001, 2 pp.

FAO (2005) *L'irrigation en Afrique en Chiffres*. Enquête AQUASTAT 2005, Rome, 93 pp.

Floret, C. & Pontanier, R. (eds.) (2000) *La jachère en Afrique tropicale: rôles, aménagement, alternatives*. Actes du séminaire international, Dakar, 13-16 avril 1999, Paris (FRA) ; Montrouge, IRD ; J. Libbey, 803 pp.

Juliano, B.O. (1994) *Le riz dans l'alimentation humaine*. Publié en collaboration avec l'IRRI, FAO, Rome, 180 pp.

Marsily (de), G. (2008) Eau, Changements climatiques, alimentation et évolution démographique. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 21:2, 111-128.

McCouch, S.R. ; McNally, K.L. ; Wang W. & Hamilton, R.S. (2012). Genomics of gene banks: A case study in rice, *American journal of Botanic*, 99, 407-423.

McNally K.L., 2010, *Rice genetic diversity, gene flow and population structure*, IRRI, Laguna, Philippines, [On

line], [14.07.2010] available from Internet: <URL : http://ec.europa.eu/agriculture/analysis/external/basmati/rice_genet_divers_mcnally_en.pdf

MINAGRIE, Direction Générale de Planification de l'Agriculture et de l'élevage (2006) *Données sur l'évolution de la production et la superficie des cultures vivrières*, Bujumbura.

Ntakimazi, G.; Nzigidahera, B.; Nicayenzi, F. & West, K. (2000). *L'état de la diversité biologique dans les milieux aquatiques et terrestres du delta de la Rusizi*. Rapport sur l'étude spéciale de biodiversité (ESBIO), 51 pp.

OAG (Observatoire de l'Action Gouvernementale) (2004). *Etude sur les conflits liés à la gestion foncière du marais de Gatakwa*. Bujumbura, 80 pp.

République du Burundi (2011). *Loi N°1/13 DU 9 août 2011 portant révision du code foncier du Burundi*. Bujumbura, 96 pp.

République du Burundi, Ministère de la Santé Publique (2009). *Plan stratégique de la réponse du secteur de la santé face au VIH/SIDA et aux IST au Burundi pour la période 2010-2015*. Bujumbura, 96 pp.

Rieul, L. (1996). L'irrigation et gestion de la ressource eau. *Ingénieries – EAC*, 5, pp. 33-42

Rieul, L. & Ruelle, P. (Coord.) (2003). *Guide pratique de l'irrigation*, Ouvrage collectif, 3^{ème} Edition, Cemagref Editions, 344 pp.

Roose, E. (1990). *Un programme national de gestion conservatoire de l'Eau et de la fertilité des sols (G.C.E.S.) au Burundi*. Rapport de mission au Burundi du 26/2 au 16/3/1990, Bujumbura, 26 pp (+ annexes).

Sie, M. (1989). *Analyse de la diversité génétique des variétés traditionnelles du riz du Burkina Faso*. Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'études approfondies en biotechnologie et amélioration végétale, Université nationale de Côte d'Ivoire, Faculté des Sciences et techniques, année académique 1988-1989, 64 pp.

Trébuil, G. & Hossain, M. (2004) *Le riz : enjeux écologiques et économiques*. Belin, Paris, 265 pp.



Microbiological evaluation of water quality from peri-urban watersheds for domestic water Supply Improvement in eastern of Democratic Republic of Congo

M.B.Theodore MUNYULI^{1,2,3}, J-P Byenda BALEGAMIRE² & P.TETE³

¹ Department of Agriculture and Biology, National Center for Research in Natural Sciences, CRSN-Lwiro, D.S.Bukavu, Democratic Republic of Congo;
Mobiles: +243992143245, +243856083
Email: tmunyuli@yahoo.com, tmunyuli@gmail.com

² Centre de recherche pour la promotion de la sante, Département de santé publique, Institut Supérieur des Techniques Médicales, ISTM-Bukavu, République Démocratique du Congo.

³ Université du Cinquanteaire (UNI-50) and Department of Environmental Sciences, National Center for Research in Natural Sciences, CRSN-Lwiro, D.S. Bukavu, Democratic Republic of Congo.

Reçu: le 11 Avril 2013

Accepté: le 15 Octobre 2013

Publié: le 5 Novembre 2013

ABSTRACT

Key words: *Escherichia coli*, Surface water, Contamination, Cattle keeping, Crop production

Agricultural and urban runoffs may be major sources of pollution of water bodies and major sources of bacteria affecting the quality of drinking water from surface water bodies. The goals of this study were to determine the distribution, diversity, and antimicrobial resistance of pathogenic *Escherichia coli* isolates from low flowing river water and sediment with inputs from different sources before water is discharged into ground water and to compare microbial contamination in water and sediment at different sampling sites throughout the River Nyabarongo watershed. There was a diversity of *E.coli* populations from different sources throughout the watershed. Agricultural and urban runoffs are the major source of pollution of water bodies (streams, rivers, wells, etc) in rural landscapes of eastern DR Congo.

RESUME

Mots-clés: *Escherichia coli*, Eau de surface, Contamination, Maintien du bovin, Production agricole

L'eau de ruissellement issue des zones agricoles et urbaines peut être une source principale de la pollution de rivières et autres douces dans les zones rurales et urbaines, bien que très souvent les scientifiques n'y croient vue que l'eau de sources traverse le sol et que le sol est un filtre reconnu. La pollution bactérienne affecte la qualité de l'eau de consommation issue des cours d'eau. L'objectif de cette étude était de déterminer la distribution, la diversité des isolats d' *Escherichia coli*. Les données étaient prélevées sur différent sites de l'amont à l'aval. Ce sont les sédiments déposés a différent sites du bassin versant de la rivière Nyabarongo qui étaient examinés pour détecter la présence de *Escherichia coli*. Les résultats de l'étude indiquent les *E.coli* ont été détectés a tous points de déchargés des ruissellements dans la rivière Nyabarongo. Ainsi donc, l'eau de ruissellement (d'érosion) issue des zones urbaines et rurales est une source de contamination vraie des eaux douces et des cours d'eau en milieu rural surtout si le ruissellement traverse les zones d'élevage des bovins, petits ruminants et porcins.



1. INTRODUCTION

The Nyabarongo river is one of the river flowing from Kahuzi Biega national park, crossing various landscapes and habitats and ending on the left side of Lake Kivu after crossing Mushobekwa wa Kalimba farm. This river which is the natural boarder separating Kabare and Kalehe territories (South-Kivu Province, DR Congo). The river is a major source of domestic water supply for over one quarter million people that live Kabare and Kalehe territories. Nyabarongo river is critical for replenishment of the territories groundwater basin since over ¼ million residents in these territories depend on groundwater for 87-90% of their water supply. Thus, any factor in the watershed which degrades the river affects automatically the drinking water supply. The river extends from its headwaters in Mountains of Kahuzi National park into the left side of Lake Kivu Basin.

The river crosses various peri-urban centers with extensive facilities to recharge much of the flows in the River into the underlying groundwater basin. Sources of non-point contaminants into the river may be from peri-urban and village centers wastewater, agricultural waste discharges (via soil erosion on sloppy hills and landslides), peri-urban runoffs, and a combination of the above factors. Currently, the River is impacted by highest concentrations of cattle keeping zones established along the national park. Currently, the watershed is undergoing drastic changes. In general, the varying land uses in the middle watershed include agriculture (small-scale polycultures/monocultures established on sloppy hills), open space, cattle keeping and rapidly growing rural/peri-urban centers. Along the axe of Lemera, there are various several small-scale and to medium scaled dairy farms. Pollutants in the watershed mainly consist of pathogens and nutrients due to the densely populated areas, runoff from agricultural activities on hills and peri-urban (rural development centers) and small-scale industries factories (coffee factories) in the region.

There have been no agencies to monitor fecal bacterial composition in the surface water in rural areas of DR Congo. Nothing has been previously done to determine/ detect the presence of *Escherichia coli* within water bodies flowing in various areas of rural areas of South- Kivu province, province where majority of the population relies on surface flowing water bodies as source of drinking water and as source of water for various needs and domestic utilities.

E. coli are very diverse in rural environment. Most *E. coli* are nonpathogenic, but there are some such as *E. coli* O157:H7 that cause human diseases such as hemorrhagic colitis (HC) and hemolytic uremic syndrome (HUS). In addition to *E. coli* O157: H7, there

are other *E. coli* pathogroups that causes diseases in human such as enteropathogenic *E. coli* which causes diarrhea in children especially in rural areas of Sub-Saharan Africa, enterotoxigenic *E. coli* which causes traveler's diarrhea and others .

There is an extensive review of sources of pathogenic *E. coli* in the environment , but their distributions in rural waters of DR Congo urban has been limited to very few to almost no studies in different territories of the country (Ishii and Sadowsky 2008, Kaper et al. 2004, Ibekwe and Lyon 2007, Ibekwe and Lyon 2008). Due to the increasing urbanization of rural zones and the large number of soil erosion, small-ruminant, pork and cattle keeping in the studied watersheds, the health risk from pathogenic *E. coli* is a major concern to drinking water quality, particularly since the water from these rivers is used by rural people for most domestic uses. There is virtually no information on the occurrence of pathogenic *E. coli* in rural zones of DR Congo and in the Nyabarongo watershed despite the high concentration of agricultural activities of hilly slopes in the watershed.

Most pathogenic *E. coli* are commonly carried by healthy cattle/ small ruminants/pork in their feces, especially in zones where agriculture is integrated to livestock under the zero grazing schemes. The fecal excretion of these organisms by cattle appears to be seasonal, with excretion rates highest during short and long rainy seasons than during dry seasons (Kaper et al. 2004, Ibekwe and Lyon 2007, Ibekwe and Lyon 2008). This study sought to detect the presence, identify and characterize pathogenic *E. coli* isolates obtained in terms of their virulence profiles. Such information may assist in the epidemiologic tracing of pathogenic *E. coli* isolates of medical concern in the region. Therefore, the goals of this study were to determine the distribution and diversity of pathogenic *E. coli* isolates from low to high flowing zones of Nyabarongo river and sediment with inputs from different sources before water is discharged into ground water. The sub-objective was to compare microbial contamination in water and sediment at different sampling sites. There was also a need to incorporate the evaluation of fecal bacterial contamination of drinking water aquifer sand material at a specific site that receives water from the above sources before discharge into ground water used by the communities of Kabare and Kalehe territories.

2. MATERIALS AND METHODS

a. Study Area and Sample Collection

The study was conducted in the study area as above described .Various sampling points for selected located along the river. Surface water samples and sediment were collected from a natural/open-space location to evaluate bacterial contributions from natural or background source.

Some points were located in National Park of Kahuzi Biega Effluent from three wastewater treatment factories (Lemera, Mabingu, Ihimbi) were also analyzed. All sampling locations and their land use types (cropping patterns) were recorded. Reference samples were taken quarterly for 12 months (from November 2011 to November 2012).

All samples were collected at the water surface in duplicate in sterile recipients, and sediments from the bank of the river, stored at 4 °C, and analyzed within 6–8 hours. Sediment samples were collected in duplicate from the river banks with a stainless steel instrument and analyzed within 24 hours.

The topography in the Nyanbarongo River watershed ranges from hilly, steep lands, rugged mountains with peaks as high as 2,261 m above sea level, to a broad alluvial-filled valley towards Lake Kivu. Nyabarongo river has various tributaries. The bottom of the basin—the effective base of the freshwater aquifer—consists of relatively impermeable sedimentary and igneous bedrock formations that are exposed at the surface in the surrounding mountains and hills. The Nyabarongo River crosses a region that is reach geologically with various basaltic, igneous/ rocks.

Most recharge to the ground-water reservoirs of the Nyabarongo River is from percolation of direct precipitation and infiltration of stream flow within tributaries exiting the surrounding mountains and hills and within Nyanbarongo River. Potential sources of recharge into the river Nyabarongo basin include the following: (i) infiltration of flow within unlined stream channels overlying the basin, (ii) infiltration of rural-urbanized zone wastewater discharges within the channel of the Nyabarongo River, (iii) underflow from the saturated sediments and fractures within bounding mountains and hills, (iv) and recycled water, (v) underflow from seepage across the bounding faults of construction buildings, (vi) intermittent underflow from adjacent basins, and (vii) deep percolation of precipitation and returns from use on sloppy agricultural lands.

The climate of the region is tropical humid. The average annual precipitation ranges from about 1450 to 2150 mm. Most precipitation occurs during the rainy season between September and May. Average precipitation for September to May ranges from about 76 mm to 129 mm; whereas average precipitation from June to August is less than 1 to 23mm across the whole basin (Ishii and Sadowsky 2008). The spatial distribution of average monthly precipitation is similar for most months and is characterized by the topographic effect of Kakuzi Biega mountainous area. Overall, the average rainy season precipitation is over 90% greater than that for all other months in the dry season.

Air temperatures across the basin are generally cool, with average daily temperatures ranging from about 19 °C to as high as 27°C.

b. Enumeration of *E. coli* from the basin

Water samples were processed in the laboratory within six hours of sample collection. All water samples were transported on ice to the laboratory and analyzed by adding 100 mL of water sample to a Colilert vessel and processing following the manufacturer's protocol. *E. coli* populations were enumerated and expressed as most probable number (MPN/100mL). For isolation of *E. coli* colonies from Colilert vessels, 100 µL liquid sample was removed from positive wells, then spread plated onto Chromagar ECC agar, and was incubated at 37 °C for 24 h. Individual colonies of pure cultures that were isolated were stored at –80 °C for further characterization. Moist sediment samples (10 g) were diluted with 90 mL of phosphate buffered saline (PBS) water (0.0425 g/L KH₂PO₄ and 0.4055 g/L MgCl₂) and shaken for 18 minutes. Ten mL of the suspension was added to Colilert vessel, diluted 1:10 and mixed. One mL from the 1:10 dilution was transferred to another vessel and was further diluted 1:1,000; and an aliquot was added to the Colilert media, mixed, then sealed in QuantiTrays and incubated at 37 °C for 24 h. Samples were processed following the manufacturer's protocol

c. Isolation of Pathogenic *E. coli* from Chino Basin

One gram or 1 mL of environmental samples was added to 9 mL of PBS, vortexed briefly, serially diluted and plated for the enumeration of *E. coli* O157 on Harlequin cefixime-tellurite sorbitol MacConkey (CT-SMAC) agar with BCIG (5-bromo-4-chloro-3-indoxyl-β-D-glucuronide) containing 0.05 mg of cefixime L-1 and 2.5 mg of tellurite L-1 (LAB M: IDG–Lancashire). The plates were incubated at 37 °C for *E. coli* O157 for 16 h; and later the different isolates of E-coli were identified following classical microbiological procedures.

d. Sampling Collection during Sand Filtration Experiment

Water samples were collected from the Nyabarongo river at different water territory stations. The water consists of source water (water from the river) and filtrate water (water from aquifer sand material after passing through a sand filtration system). This process was repeated three times to determine reliability of data. The experiment was conducted in a 1.1 × 1.1 × 1.8 m filtration tank built with stainless steel outside the field station. Aquifer sand material was heterogeneous native Lake Kivu sediment that had been processed through a sand washing plant to remove the majority of silt and clay particles.

The material was trucked to the station and packed into the tanks. Samples from aquifer material were collected at the end of each experiment. Source water was obtained from the River water. The water ran through a 2cm PVC pipe into the sand filtration unit. The water runs another 1 m through the filtration tank containing aquifer materials and collected at the outlet for analysis of fecal bacteria.

e. Enumeration of Heterotrophic Bacteria and *E. coli* in Water Before and After Sand Filtration

Water sample was collected in 1-L sterile bottles, transported on ice to the laboratory, and processed within 6 h using standard procedure. Various dilutions and volumes were filtered with the goal of achieving 50–500 colonies per dilution. Surface water samples was vortexed and volumes of 100, 10 and 1 mL were filtered in phosphate buffered saline (PBS) water (0.0425 g/L KH₂PO₄ and 0.4055 g/L MgCl₂) to obtain the best sample conditions. Tenfold and 100-fold dilutions were also prepared in PBS, vortexed, and 1 mL of each dilution was filtered in duplicate. Volumes of 1 mL, 10 mL and 100 mL (via membrane filtration) were plated onto tryptic soy agar (TSA) (for heterotrophic plate counts [HPC]) and sorbitol-MacConkey agar (SMAC-BCIG without cefixime-tellurite) for *E. coli*, and incubated at 37 °C for 24 h and colonies were

enumerated. *E.coli* strains are β-glucuronidase positive and/or sorbitol positive, so produce pink/red colonies with a purple center, or green colonies (some may be translucent with a green center).

f. Statistical Analysis

All analyses were performed in triplicate, and the data shown in the graphs are the average of three separate measurements conducted. Thus, an analysis of variance (ANOVA) was conducted with log₁₀-transformed density of *E. coli* bacteria using STAT 11 version 11 to determine statistical significant differences using Tukey’s studentized range (HSD) test for mean separation.

3. RESULTS

a. Fecal Indicator Bacterial Concentrations in Nyabarongo Basin

Indicator bacteria in sediment and surface water were determined on various water and sediment samples collected from 22 sites over a 12-month period (2011-2012). Counts ranged from undetectable (detection limit 1 MPN 100mL) in the surface water to 2.5 × 10⁴ MPN/100g in the sediment (Fig. 1).

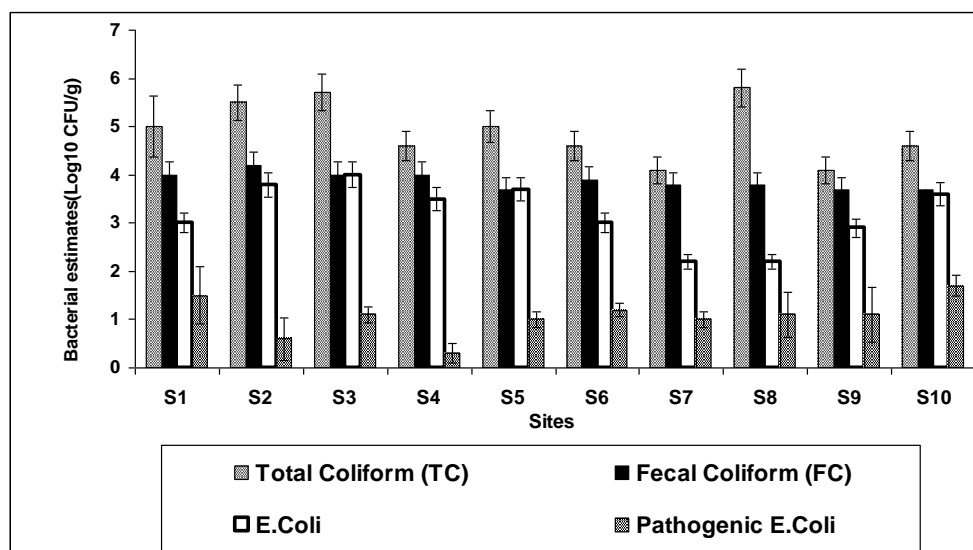


Fig. 1: Concentration of indicator bacteria in sediment on various sampling points along the major sources. Samples S1 to S7 are from per-urban runoff and samples S8 to S10 are from agricultural inputs landscapes crossed by the river. An errors bar represents standard errors of three replicates samples. Only samples with potential Pathogenic *E. coli* are shown

Basic univariate summary statistics for pathogenic *E. coli* counts included in Figure 1 are from sediment samples because most of the potentially pathogenic *E. coli* were recovered from sediment samples. The statistics summarized the log₁₀ transformed counts for each indicator bacterial group.

Total coliform counts were the highest, and with the greatest variability in concentrations. Presumptive pathogenic *E. coli* were small in numbers and most of the times below 10 cfu/g.

b. Fecal Indicator Bacterial Levels in Source Water and Aquifer Sand Material During Sand Filtration

There were no differences in the levels of heterotrophic bacteria as determined by plate count in the source water (influent) and the filtration (water that has gone through sand filtration (Figure 4). Significantly higher levels ($P < 0.001$) of HPC were found in water

samples in late March-May than in September - December. There were significant ($P = 0.05$) higher numbers of *E. coli* in source water in March-April than in October-November. After water has gone through filtration tanks containing aquifer sand material, there was a 1 to 2 log reduction in *E. coli* in aquifer sand tank. This showed that the filtration unit with aquifer material had limited impact on *E. coli* population (Fig. 2).

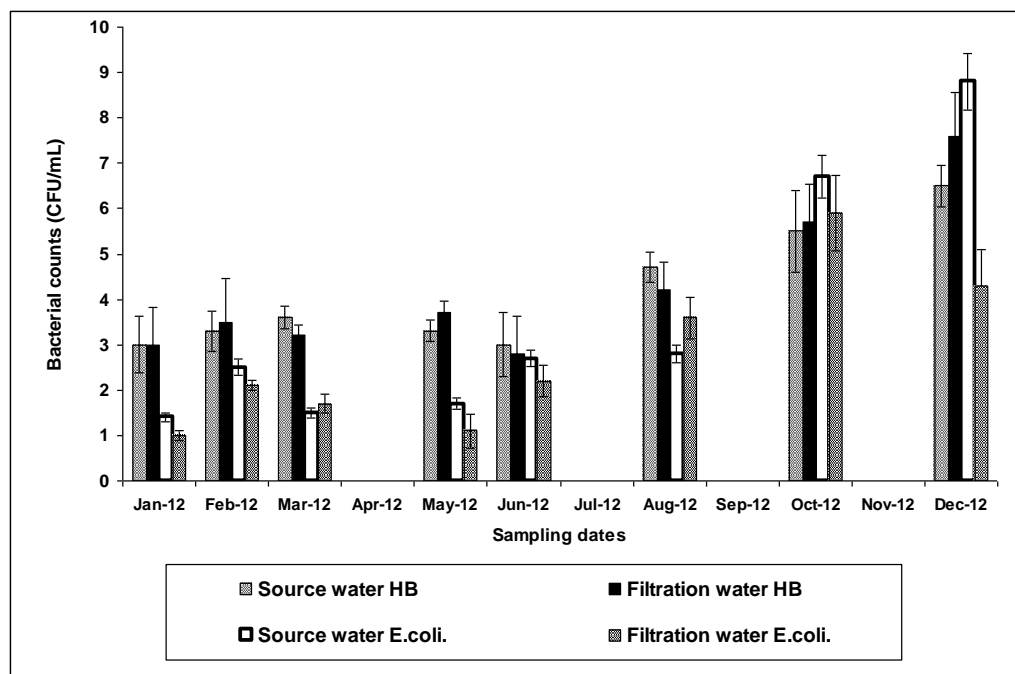


Fig. 2: Levels of heterotrophic (HB) and E.Coli.as determined by plate count in the source water and after filtration through aquifer sand materials. All samples were taken in January through December 2012

4. DISCUSSION

Examination of each site throughout the watershed indicated that indicator bacterial concentrations were high from all point sources. There was a high concentration of fecal coliform in the samples. The major sources of pollution to the watershed by these fecal coliform were cattle keeping and soil erosion running with contaminated water from hills. Peak in concentrations of *E. coli* depended more bacteria loading rates in the sources (tributaries). Heavy rains generated runoff, and thus bacteria wash off, in hilly regions.

Land uses that were assigned the highest bacteria-loading values were agriculture and cattle keeping. These activities had concentrations exceeding 235 cfu/100mL (Ishii and Sadowsky 2008, Kaper et al. 2004, Ibekwe and Lyon 2007, Ibekwe and Lyon 2008) . Thus, land use was the major factor affecting the concentration of *E. coli* in the Nyabarongo river watershed. In contrast, national park of Kahuzi Biega

and open space land use areas had a significant decrease in the frequency of bacteria concentrations in waterways.

The microbiological data provided in this study can help water utility companies in their understanding of source water quality and help them in the processing of tertiary treated water that may be subsequently available for domestic use for rural communities. There is an urgent need for combined effort to be made to supplies rural communities with treated water sources rather than living these communities continue using the river water for any kind of domestic use including drinking water.

5. CONCLUSION

In this study *E. coli* was found in the surface water from Nyabarongo river. The study area has high number of agricultural activities being conducted on hilly slopes and by several cattle keeping points. Agricultural activities, land pf pit latrines in the villages surrounding the river and animal grazing are the main reservoirs of pathogenic *E. coli*.

There is a need for developing a monitoring program for all rural freshwater used by communities for different uses. There is an emergent need for humanitarian agencies and government to develop rapidly treated water supply systems.

REFERENCES

Ishii S, Sadowsky MJ (2008) . *Escherichia coli* in the environment: Implication for water quality and human health. *Microbes Environ.* 23: 101-108.

Kaper JB, Nataro JP, Mobley HLT (2004) . Pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Rev.* 2: 123-140.

Ibekwe AM, Lyon SR (2007) . Microbial characteristics through drinking water aquifer sand material. *Eng. Life Sci.* 7: 81-89.

Ibekwe AM, Lyon SR (2008) . Microbiological evaluation of fecal bacterial composition from surface water through aquifer sand material. *J. Water Health* 6: 411-421.



Pression foncière face à la croissance démographique au Burundi: enjeux et perspectives pour un développement durable en province de Kirundo

Bonaventure Minani¹, Déo-Guide Rurema¹, Philippe Lebailly²

¹ Université de Ngozi, B.P. 137 Ngozi / Burundi

² Université de Liège/ Agro-Bio-Tech-Gembloux, Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux-Belgique

Reçu: le 11 Avril 2013

Accepté: le 1 Novembre 2013

Publié: le 6 Novembre 2013

RESUME

Mots-clés: Agriculture familiale, conflit foncier, environnement, Kirundo

Notre étude a été menée en province de Kirundo au nord du Burundi où 355 exploitants agricoles ont été enquêtés dans les communes de Bugabira, Busoni, Bwambarangwe, Gitobe, Kirundo, Ntega et Vumbi respectivement 50, 75, 30, 40, 55, 55 et 50 exploitants agricoles. Le nombre de ménages agricoles enquêtés était fonction de la pondération du nombre d'exploitants dans chaque commune. Cette enquête était complétée par une étude documentaire. Les résultats issus de l'analyse des données montrent que la taille moyenne des ménages est de 5,01. Parmi les exploitants agricoles enquêtés 54 % ont une superficie de 0,234 ha, 25 % ayant une superficie de 0,678 ha tandis que 21 % seulement possèdent une superficie de plus d'un hectare. L'amenuisement des terres a provoqué une intensification des terres allant jusqu'à 200 % sans technique de renouvellement de la fertilité. Cette surexploitation des sols provoquant ainsi une infertilité et une forte érosion de ces derniers a engendré une diminution de la production agricole. La raréfaction croissante des terres a provoqué de nombreux conflits relatifs à la propriété, aux successions et aux limites des parcelles; elle a également entraîné un exode rural des jeunes vers les villes à cause du désœuvrement observé chez les exploitants agricoles ayant des ressources naturelles limitées, mais aussi des mariages précoces chez leurs enfants. Certains exploitants ont laissé de cultiver leurs champs à cause de leur improductivité. Un facteur particulièrement visible de la dégradation de l'environnement au niveau de cette province est le déboisement continu sans technique de protection des sols provoquant ainsi un changement climatique.

ABSTRACT

Key-words: Family farming, land conflict, environment, Kirundo

Our study was conducted in Kirundo in northern Burundi, where 355 farmers were interviewed in communes of Bugabira, Busoni, Bwambarangwe, Gitobe, Kirundo Ntega and Vumbi respectively 50, 75, 30, 40, 55, 55 and 50 farmers. The number of farm households surveyed was based on the number of farmers in each municipality. The results of the analysis show that the average household size is 5.01. Among the farmers surveyed, 54% have an area of 0.234 ha, 25% with an area of 0.678 ha, while only 21% have an area of more than one hectare. Erosion soil caused by overexploitation of land up to 200% without technical renewal of fertility. This overexploitation of the soil causing infertility and severe erosion of the latter has led to a decrease in agricultural production. The increasing scarcity of land has caused many disputes over property, inheritance and parcel boundaries and has also led to an exodus of rural youth to the cities because of idleness observed in farmers with limited natural resources, and early marriages for their children. Some farmers have left their fields because soil unproductive. A particularly visible degradation of the environment in this province is to continued deforestation without soil protection techniques and then resulting soil erosion and provoking climate change.

1. INTRODUCTION

Le Burundi doit faire face à une croissance élevée de la population, à la pauvreté, à la dégradation accélérée des sols et à la pression foncière croissante. En effet, le Burundi compte actuellement huit millions et demi d'habitants sur une superficie de 27834 km², ce qui en fait un des pays les plus densément peuplés

du monde (RGH, 2010). Plus de 90% de cette population vivent en milieu rural. Elle exerce une forte pression sur les terres qui deviennent de plus en plus exiguës. Au regard de la structure de la population, le taux d'accroissement de cette dernière risque de dépasser à long terme les taux de croissance économique.



Plus de la moitié de la population est constituée de jeunes de moins de 17 ans et le taux de fécondité est de 6 enfants. Cette situation laisse présager un potentiel d'accélération de la croissance démographique dans le moyen terme. Cette évolution contrastée entre une population principalement rurale, et celle de la production agricole qui est restée traditionnelle sur des terres surexploitées conduit à l'insécurité alimentaire et à la détérioration de l'environnement.

Le système éco-socio-spatial prévalant actuellement au Burundi est marqué par la difficulté de moderniser le milieu rural du fait de l'exiguïté des terres, de l'émiettement du foncier, d'une pression démographique non maîtrisée et d'un milieu urbain embryonnaire qui n'offre pas d'alternative durable aux problèmes du monde rural. En outre, le développement régional est dissocié de l'aménagement de l'espace et le cadre juridique et institutionnel est insuffisamment clarifié. Avec un Indice de Performance Environnementale (IPE) de 43,9 en 2010, le Burundi est classé 141ème sur 164 pays. Cette situation implique une grande vulnérabilité écologique du pays et des capacités très limitées d'investissement dans l'infrastructure environnementale, dans le contrôle de la pollution et dans la gestion de l'environnement. Une organisation inadéquate de l'espace national et la détérioration de l'environnement sont peu propices au succès de politiques de croissance et de lutte contre la pauvreté. Cette vision s'impose du fait des pressions sur les ressources naturelles qui résultent de la croissance démographique (CSLP II, 2012).

Notre étude a été menée dans la province de Kirundo qui est située au Nord du Burundi. Elle est limitée au Nord et à l'Ouest par le Rwanda et la province de Ngozi. Au Sud et à Est, elle fait frontière commune avec la province Muyinga. Sa superficie de 1.703,34 Km² représente 6,1% de la superficie nationale. Ce qui lui confère la 8ème position en termes d'étendue sur le plan national. La province de Kirundo est subdivisée en 7 communes qui sont Bugabira, Busoni, Bwambarangwe, Gitobe, Kirundo, Ntega et Vumbi (fig. 1). La Province de Kirundo appartient pour sa plus grande partie à la région naturelle de Bugesera (88% du territoire), seules, les parties du Sud des communes Vumbi et Gitobe sont dans la région naturelle du Bweru (12% du territoire).

Le soubassement géologique de la Province de Kirundo est formé pour l'essentiel de roches sédimentaires du quaternaire (alluvions de fonds de vallées) et d'une alternance de quartzites (Burundien Supérieur) dont la couleur et l'agencement des éléments constitutifs sont fonction des différents types de formations. En termes de relief, cette province se trouve dans sa partie Sud sur les zones de montagne et le plateau central dont l'altitude se situe entre 1500 et 2000 m. La partie Nord de la province de Kirundo correspond aux dépressions du Nord-est dont l'altitude moyenne est de 1300 m.

Les pentes dans le secteur de Bugesera sont généralement moyennes à faibles (inférieures à 25 %).

Toutefois, les secteurs sud, inclus dans les communes de Gitobe, Bwambarangwe et Ntega recèlent de vastes emprises ayant des pentes supérieures à 50 %. D'autres secteurs fortement pointus existent également sur la partie de la province relevant de la zone naturelle du Bweru. Pour l'ensemble de ces fortes pentes, l'orientation sera de limiter strictement l'exploitation agricole et de les réserver à des boisements destinés à retenir des terres et à limiter la force de ruissellement sur les parties aval.

Les sols du Bweru sont des ferrasols graveleux avec affleurements qui couvrent les sommets des reliefs pénéplaines de moyenne altitude. Ce sont des sols à valeur agricole faible. Les sols de la province de Kirundo, vu leurs caractéristiques lithologiques et topographiques sont prédisposés à l'érosion hydrique par décapage et ravinement. L'érosion des sols dans cette province s'est accélérée par le déboisement excessif et les techniques culturales inadéquates. La gestion des terres est caractérisée par une demande accrue de terrains pour différents usages, spécialement les activités agro-sylvo-pastorales. Cette pression croissante sur terres qui est le facteur principal de leur dégradation est aussi devenu une source de conflits sociaux.

Le paysage Aquatique Protégé du Nord comprend 8 lacs (Rweru, Cohoha, Rwhinda, Kanzigiri, Gacimirindi, Nagitamo, Narungazi et Mwangere) et la Réserve Naturelle de Murehe. Les lacs, eux seuls, couvrent une superficie totale de 16010 ha, mais celle-ci a tendance à diminuer à cause de la sécheresse et de l'exploitation par drainage inadéquat des marais en amont comme en aval. Les principales pressions sur ces lacs et la réserve naturelle de Murehe sont: pêche illicite, exploitation minière artisanale dans la réserve de Murehe, cultures sur les littoraux des lacs et pollutions des eaux du lac par des engrais et pesticides carbonisation au niveau de la réserve de Murehe, installation illégale des ménages dans la réserve de Murehe, extraction de l'argile dans les marais pour la fabrication des briques et de la poterie, les feux dans les marais, pacage du bétail et transhumance, introduction de l'espèce *Clarias gariepinus* (poisson chat), utilisation par le Rwanda des eaux du lac Cohoha pour l'irrigation, drainage des marais, espèce invasive (jacinthe d'eau) sur le lac de Rweru. Les principales menaces dans ces aires protégées sont notamment la pression démographique, accentuation des perturbations climatiques et la recherche des espèces médicinales (UICN et PAPACO, 2011). C'est donc tout le système lacs, marais des berges et marais des rivières, bassins versants, qui fonctionne comme un tout et dont l'intégrité est garante du maintien de la ressource d'eau; du potentiel halieutique, de la biodiversité et des microclimats favorables aux activités humaines de la province de Kirundo (MPDRN et PNUD, 2006).

2. METHODOLOGIE

Nous avons mené une enquête auprès de 355 exploitants agricoles, chefs de ménage en province de Kirundo dans les communes de Bugabira, Busoni, Bwambarangwe, Gitobe, Kirundo, Ntega et Vumbi respectivement 50, 75, 30, 40, 55, 55 et 50 exploitants agricoles. La technique d'échantillonnage stratifiée a été appliquée. Le nombre de ménages agricoles enquêtés était fonction de la pondération du nombre d'exploitants dans chaque commune. Pour bien comprendre la dynamique de la pression foncière et son

impact sur l'environnement, une démarche systémique a été utilisée. D'après Ferraton et Touzard (2009), cette méthode repose sur les interactions de tous les éléments que l'on étudie. Elle va du général au particulier. Elle comporte différentes étapes qui portent sur des échelles d'analyse de plus en plus fines. Chaque étape apporte une série de questions qui ne trouvent de réponse qu'en changeant d'échelle d'analyse. Le niveau de détail que l'on recherche à chaque étape est ainsi déterminé par étape précédente. Toutes ces méthodes étaient complétées par une étude documentaire et des observations in Situ.

Province de Kirundo

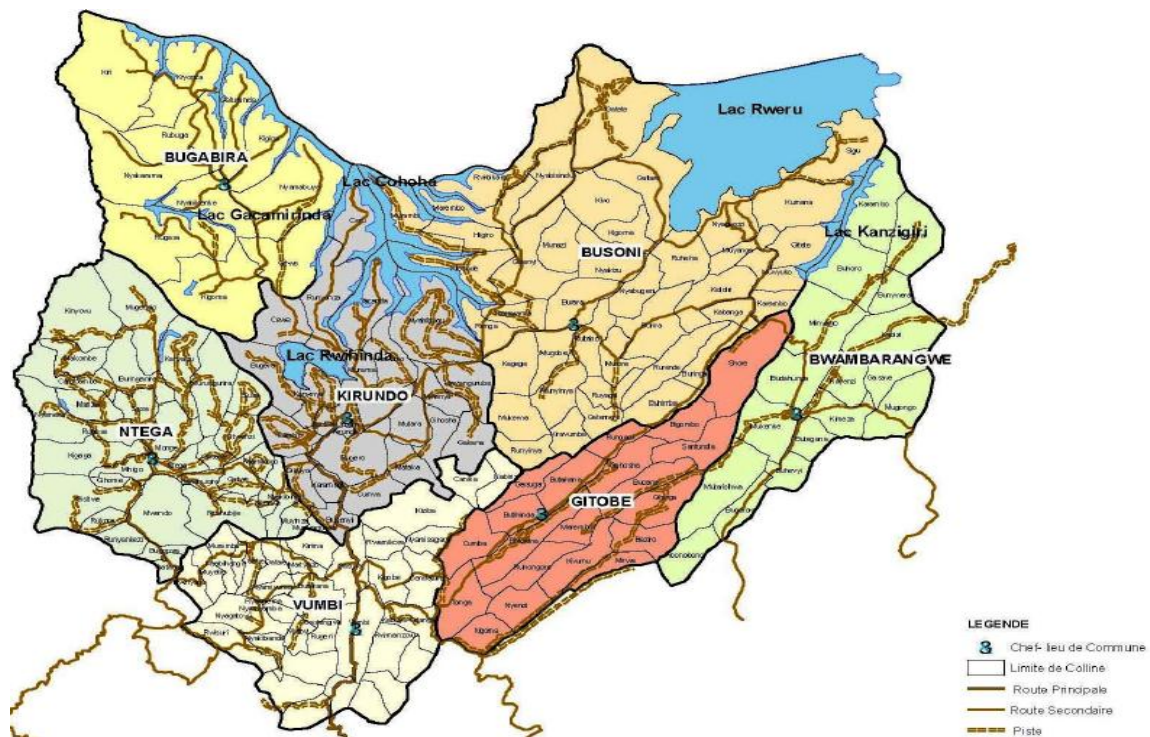


Fig. 1: Subdivision de la province de Kirundo

3. RESULTATS

Les résultats issus de l'analyse des données nous révèlent que le nombre d'hommes enquêtés est élevé par rapport à celui de femmes, soit 73,8 % chez les hommes contre 26,20 % chez les femmes. Cela s'explique par le fait que selon les coutumes burundaises, les femmes deviennent chef d'exploitation quand leurs maris sont décédés ou bien quand elles sont divorcées ou libres.

Cette étude a révélé que le taux d'analphabétisme chez les enquêtés était 42,25 %. Ce taux d'analphabétisme était aussi un grand handicap aux différents outils de communication et de vulgarisation pour mettre en place des méthodes de

lutte contre l'érosion et de conservation des sols, et par conséquent, l'amélioration de la production agricole.

Le nombre de membres résidant au sein du ménage est de 5,01, tandis que le nombre moyen d'actifs agricoles par famille est de 2,25. La population à charge est supérieure à la population active soit un rapport de dépendance de 1,3. Avec des faibles productions enregistrées chez ces exploitants, ce taux de dépendance est plus élevé si on sait que le faible revenu d'une personne active doit être partagé avec deux personnes pour satisfaire d'abord les besoins de survie et ensuite de développement. Le nombre d'habitants en 1990 dans cette province de Kirundo était de 404564 habitants et avoisine 700000 habitants en 2010, soit un taux croissance démographique de 3,1 % par an (fig. 2).

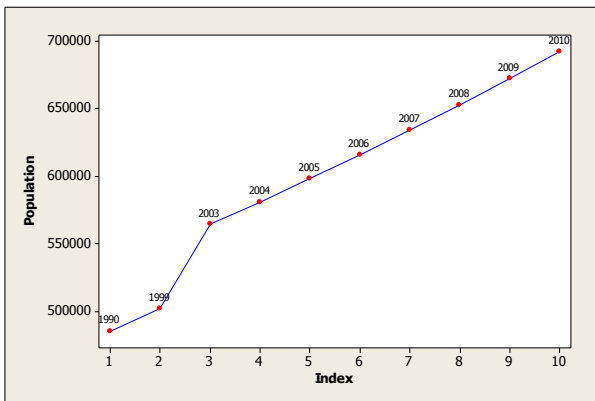


Fig. 2: Evolution de la population de Kirundo de 1990 à 2010

Cette croissance démographique est très inquiétante car les résultats du tableau 1 nous révèlent que 53,8 % de ménages exploitent une superficie de 0,235 hectares, 25,07 % ont une superficie moyenne de 0,678 hectares, 11,27 % possèdent une exploitation moyenne de 1,18 hectares tandis que 9,86 % seulement de ménages possèdent une superficie de plus de 3 hectares.

Tableau 1: La superficie moyenne en hectare par ménages

Groupes	Tranche de superficie	Superficie moyenne en hectares	Pourcentage d'exploitants agricoles (%)
Groupe 1	< 0,49 ha	0,235	53,8
Groupe 2	0,5-0,99 ha	0,678	25,07
Groupe 3	1-1,5 ha	1,180	11,27
Groupe 4	> 1,5 ha	3,135	9,86

Au niveau provincial, près de 9 % de ménages ont des champs en conflit. Cette situation d'insécurité foncière ne rassure pas les exploitants agricoles à investir dans des champs en conflits, cela accentue la paupérisation déjà ressentie par les exploitants agricoles de cette région.

Concernant le mode d'acquisition de la terre, l'analyse des résultats de la figure 3 nous montre que chez le groupe de ménages ayant des grandes superficies, le mode dominant d'acquisition de la terre est l'achat tandis que les exploitants ayant des petites superficies, le principal mode d'accès à la terre est l'héritage.

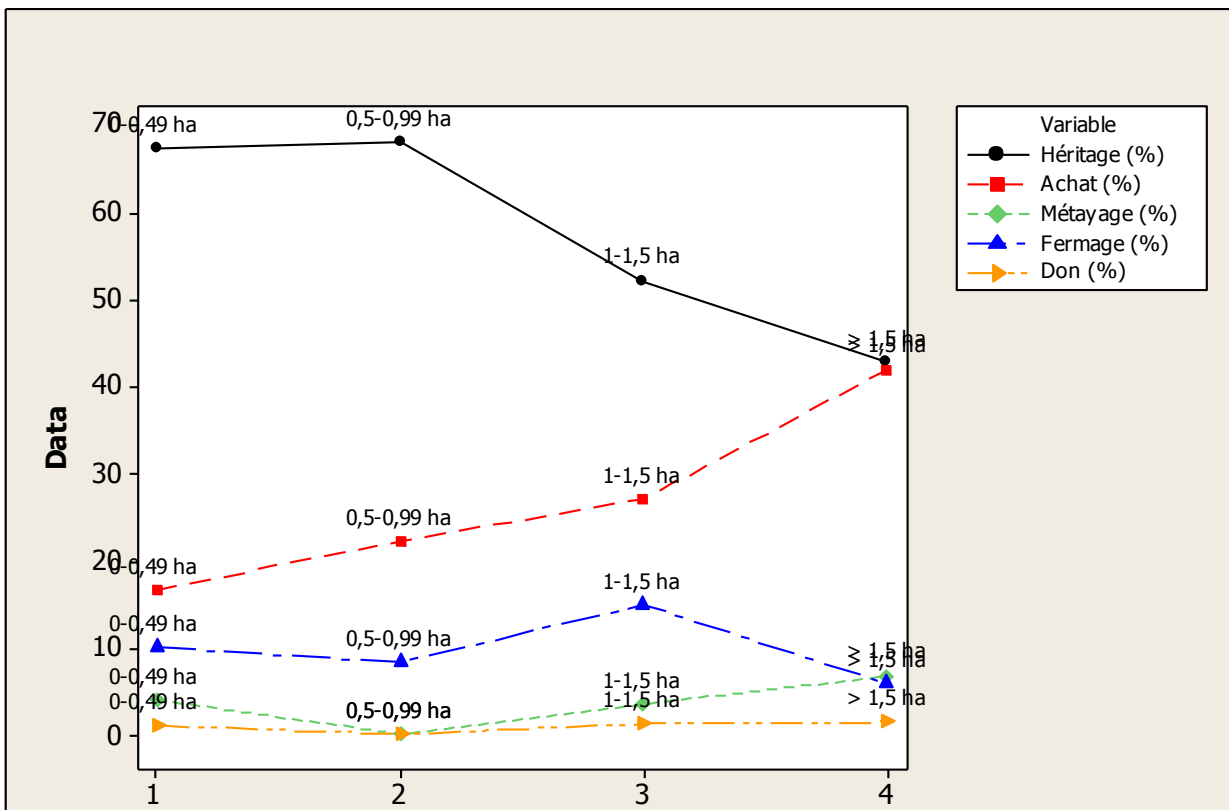


Fig. 3: Modes d'accès à la terre chez les exploitants enquêtés

Les résultats de la figure 4 concernant la durée des stocks des denrées alimentaires montrent qu'il y a une différence très significative entre les différents

groupes. Ceci montre que les groupes ayant des faibles superficies n'ont pas d'autres sources de revenus en dehors des activités agricoles.

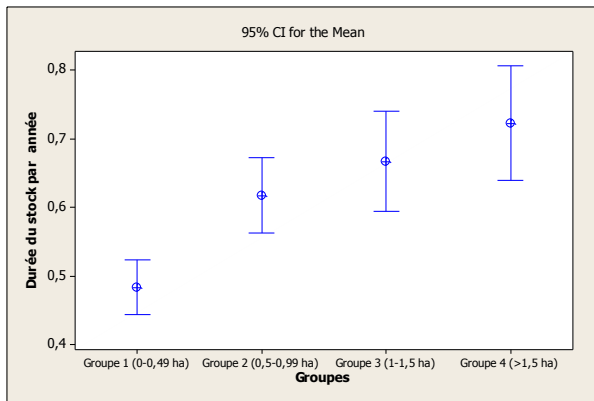


Fig. 4: La durée du stock des denrées alimentaires en an chez les ménages enquêtés

Comme moyen de protection de l'environnement et la conservation des sols, nous remarquons que les ménages utilisent les pratiques agricoles (12 %), l'agroforesterie (28%), les haies antiérosives (47 %), cordons pierreux 12 % tandis que ceux qui n'en pratiquent pas s'élèvent à 6%.

Par ailleurs, les résultats de la figure 5 nous montrent que 33 % des ménages enquêtés trouvent le bois de chauffage dans leurs propres plantations, 30 % dans les plantations de l'Etat, 21 % dans les exploitations des voisins, 12 % dans les exploitations familiale tandis que 3 % l'achètent et 1 % le trouvent dans divers endroits.

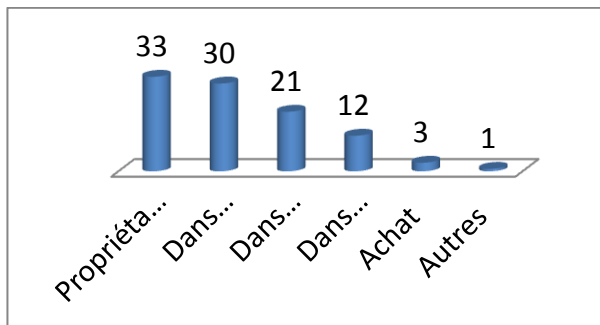


Fig. 5: Origine du bois de chauffage

4. DISCUSSION

Le taux élevé d'analphabétisme trouvé chez les ménages de cette province de Kirundo ont des impacts négatifs surtout dans l'utilisation des techniques culturelles modernes, le planning familial et des innovations dans la protection de l'environnement. Ce taux d'analphabétisme des chefs des ménages enquêtés (42,25 %) reste inférieur à la moyenne nationale qui s'élève à 60 % en milieu rural (RGPH, 2011). En agriculture par exemple, les recherches ont montré que le niveau d'éducation des producteurs a un effet positif sur la productivité de l'exploitation. En effet, Lau et al. (1991) ont constaté qu'une hausse de 10% du niveau moyen d'éducation de la population active avait engendré 0,3% de croissance économique additionnelle en Afrique subsaharienne, 1,7% en

Amérique Latine et 1,3% en Asie de l'Est. De même les travaux d'Orivel (2001) ont prouvé qu'en moyenne, les agriculteurs ayant fréquenté pendant quatre années l'école primaire ont une productivité supérieure de 7,4% à celle de leurs homologues qui n'ont pas fréquenté l'école primaire. Weir (1999) et Gurgand (2003) montrent que l'éducation peut améliorer la productivité directement par la qualité du travail réalisé, par la faculté à s'adapter aux changements, et par une disposition d'esprit propice à adopter des innovations techniques et organisationnelles. L'alphabétisation et le développement des capacités de calcul peuvent aider par exemple les exploitants agricoles à collecter et à analyser les informations internes et externes à leur exploitation, à développer une capacité d'anticipation, nécessaire, notamment lors des changements radicaux, et à les sensibiliser aux enjeux et aux opportunités de la production et des activités non agricoles.

Par conséquent, l'augmentation et la valorisation du capital humain à améliorer les pratiques techniques et managériales des agriculteurs et à accroître leurs chances de réussite (Barrett et al., 2001). D'après Cochet (2001), l'explosion démographique provoque un accroissement considérable de la pression foncière entraînant une extension des surfaces cultivées au détriment des pâturages et des terres laissées en jachère, une régression consécutive de l'élevage, une diminution de la surface moyenne par exploitation agricole, la mise en terre de terrains à forte pente et l'aggravation des phénomènes d'érosion, une baisse généralisée de la fertilité et une chute de rendement des cultures et donc, un déséquilibre «population / ressources».

Cette pression démographique est au centre de nombreux conflits fonciers observés dans cette région. Ces conflits trouvent notamment son origine dans l'héritage lors de la succession et cela s'observe dans 50,3 % des ménages enquêtés tandis que 30,9 % des conflits sont dus aux différents mouvements migratoires surtout chez les personnes venues des provinces surpeuplées du Burundi surtout la province de Kayanza, et qui s'étaient installées dans cette région. D'autres conflits fonciers sont dus notamment à la spoliation des terres (5,7 %) et aux déplacements des bornes (13, 1 %). En effet, le fait que la population double tous les 30 ans et le système successoral par morcellement des terrains familiaux provoquent l'atomisation et la dégradation des sols agricoles familiales et limitent les possibilités pour les fermiers d'accroître la production agricole. Il est maintenant connu qu'avec une taille moyenne de 0,5 ha par l'exploitation, la surface a déjà atteint ses limites comme facteur principal de production et de sources de revenu. Cette projection démographique autour du système ancestral de succession permet d'envisager ainsi un morcellement continu des terres et partant le déclassement de la ressource terre comme facteur principal de production et l'effondrement de l'économie nationale (CLPII, 2011).

Nous avons remarqué qu'un ménage plante en moyenne 14 arbres par an alors qu'il utilise 9 arbres pour le bois de chauffage et les arbres destinés à la fabrication des planches, le charbon, la construction, four, etc. D'où un déboisement accéléré qui atteint 36 %, supérieur au taux annuel national de déforestation estimé à 9 % (CLPII, 2011).

Parmi les causes de la déforestation, il faut noter la forte pression sur les ressources forestières liée à la forte dépendance de la population vis-à-vis du bois comme source d'énergie. Le déficit en bois de service et de feu atteint 80% des besoins (0,075 m³/hab./an pour bois de service et 2,98 m³/hab./an pour bois de feu et charbon de bois) contre 20 % pour les besoins en bois d'œuvre (0,04 m³/hab./an). Suite à la diminution progressive d'une taille d'exploitation d'un ménage et à la perte de sa fertilité, la population a tendance à recourir aux milieux naturels en vue de la recherche de nouvelles terres agricoles par le défrichage culturel des forêts et le drainage incontrôlé des marais. Ces pratiques accélèrent l'érosion sur les fortes pentes, les inondations dans les bas fonds et les plaines et le tarissement des sources d'eau, la sédimentation des lacs, le dessèchement des marais et la perte de la biodiversité (CSLP II, 2011).

A cause de la pauvreté extrême observée au sein des ménages de Kirundo, plus de 16 % de leurs enfants se marient avant l'âge (à moins de 18 ans) et 1 % font un exode rural à la quête de l'emploi en ville provoquant ainsi, la fuite de la main d'œuvre agricole très active dans les milieux ruraux. Ce taux de migration vers les centres urbains est proche de la moyenne nationale estimée à 1,04 % dans les provinces rurales d'après les résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2008 (RGPH, 2011). Cette fuite de main d'œuvre agricole active pourrait servir au creusement des fosses anti érosives, au transport du fumier pour les champs éloignés de la maison, donc à l'augmentation de la production agricole. D'ailleurs, Sebillotte (1989) et Pichot (1996) montrent que la fertilité du sol avec ses composantes est fortement conditionnée par la capacité des agriculteurs à le mettre en valeur et aux modes d'organisations collectives pour gérer les territoires, à l'accès aux intrants et donc au crédit, à la force du travail mobilisable et à la possibilité d'utiliser certains outils et équipements.

La démographie galopante dans cette région a provoqué une surexploitation des sols sans laisser de jachères, techniques de renouvellement de la fertilité ou bien un mode de conservation des sols et de protection des sols. Il apparaît de plus en plus clairement que pour réduire le volume ruisselé ainsi que les pertes en terre, l'état de la surface du sol joue un rôle majeur.

La région de Bugesera connaît certains facteurs limitant le reboisement notamment le déficit pluviométrique et les termites; toutefois, la mise en place des arbres agro-forestiers comme les Acacia, la

protection des bosquets, etc. pourront contribuer au maintien des écosystèmes terrestres et donc au maintien de la fertilité des sols (MATTE, 2007).

5. CONCLUSION

L'étude menée dans cette province avait révélé que plusieurs problèmes socio-économiques et environnementaux notamment le taux d'analphabétisme élevé, la croissance démographique accélérée, la diminution des terres cultivables, conflits fonciers, le déboisement accéléré, manque de main d'œuvre, exode rural, infertilité du sol, faible production agricole, etc. sont à la base de la pauvreté des exploitants agricoles de cette région. Nous pouvons recommander ce qui suit:

- Politique de planning familial;
- Politique de sécurisation foncière;
- Protection de l'environnement par le reboisement ;
- Creusement des fosses anti-érosives, la pratique de l'agroforesterie, etc.;
- Politique de création d'emplois au niveau rural;
- Alphabétisation des adultes;
- Introduction des méthodes rationnelles d'utilisation du bois comme foyer amélioré;
- introduction des plantations villageoises;
- Regroupement en associations pour les activités environnementales, etc.

BIBLIOGRAPHIE

Barrett C.B., Sherlund S.M., Adesina A. A. (2001). *Macroeconomic shocks, human capital and productive efficiency: evidence from West African rice farmers*. Cornell University, Ithaca, USA.

Cochet H. (2001). *Crises et révolutions agricoles au Burundi*. Editions KARTHALA, Paris, France, 468 p.

CSLP II (2012). *Cadre stratégique de lutte contre la pauvreté*, Bujumbura.

CLPII, 2011. *Cadre stratégique de lutte contre la pauvreté. Note d'orientation issue des consultations sectorielles. Secteur environnement*, Bujumbura, Burundi, 33p.

Ferraton N. et Touzard I. (2009). *Comprendre l'agriculture familiale : Diagnostic des systèmes de production*. Editions Quae, CTA, Presses Agronomiques de Gembloux, 123p.

Gurgand M (2003). Farmer education and weather: evidence from Taiwan (1976-1992). *Journal of Development Economics*, 71 (1) : 51-70 p.

Lau, L. J., Jamison, D. T., et Louat, F.F. (1991). *Education and productivity in developing countries: an aggregate production function approach*, Washington, The World Bank (WPS 612).

MATTE (2007). *Plan d'action national d'adaptation aux changements climatiques (PANA)*. Ministère de l'Aménagement du Territoire, du Tourisme et de l'Environnement, Bujumbura, Burundi, 77p.

RGPH (2011). *Recensement général de la population et de l'habitat du Burundi 2008, volume 1. Tableaux statistiques Burundi*. GIS/CISNU, Bujumbura, Burundi, 166 p.

MPDRN et PNUD (2006). *Monographie de la province de Kirundo*, Burundi.

Orivel F. (2001). Education et développement. In Bourdon J. et Thélot C. eds., *Education et formation: l'apport de la recherche aux politiques éducatives*, CNRS Editions, Paris.

Pichot J. P. (1996). La fertilité des milieux tropicaux. In Pichot I., Sibelet N., Locoeuilhe J. J. (éds), *Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides*. Actes du séminaire 13-17 novembre 1995.

Montpellier, France. CIRAD. Collection Colloque, Montpellier, France 13-15 p.

Roose E. (1994). *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*. Bulletin Pédologique de la FAO 70.

Sebillotte M. (1989). *Fertilité et systèmes de production*. INRA, collection *Espaces ruraux*, Paris, France, 369 p.

UICN et PAPACO, (2011). *Parcs et réserves du Burundi : évaluation de l'efficacité de gestion des aires protégées*. Union Internationale pour la Conservation de la Nature et de ses Ressources (UICN) et Programme des Aires Protégées d'Afrique du Centre et de l'Ouest (PAPACO), Ouagadougou, Burkina-Faso, 112p.

Weir S. (1999). *The effect of education on farmer productivity in rural Ethiopia*. Working paper serie, centre for the Study of African Economies, University of Oxford, Oxford, Grande-Bretagne, 50p.



Voies de traitements de déchets solides: *Valorisation matière et énergie*

C. Gisèle JUNG

Université Libre de Bruxelles (ULB) – Centre Emile Bernheim - Service 4MAT
50, Av.F.D. Roosevelt CP 165/63-1050 Bruxelles – Belgique; cgjung@ulb.ac.be

Reçu: le 11 Avril 2013

Accepté: le 1 Novembre 2013

Publié: le 6 Novembre 2013

RESUME

Mots clés : biogaz, combustibles de substitution, compost, char, tri, valorisation énergétique

La caractérisation du déchet est primordiale pour déterminer le mode de traitement le mieux adapté. En effet, en fonction de la composition d'un déchet, après tri préalable, chaque fraction peut être orientée vers des filières de traitement appropriées. Disposer d'un échantillon représentatif d'un déchet permet de déterminer son taux d'humidité (ou la teneur en matières sèches), sa teneur en cendres (sur matières sèches), le rapport matières volatiles sur matière sèche, la présence de divers polluants potentiels ainsi que son pouvoir calorifique inférieur (PCI en MJ/kg). Sur base de cette caractérisation, différentes filières de traitement de déchets telles que compostage, biométhanisation ou traitements thermiques, etc. peuvent alors être examinées sur les plans de récupération matières et valorisation énergétique. L'exposé des différentes voies de traitement devrait permettre de favoriser le choix d'un traitement en respectant les contraintes environnementales, en tenant compte des circonstances locales et être réalisé dans des conditions économiquement acceptables avec l'objectif essentiel d'un développement durable.

SUMMARY

Key-words: biogas, substitution fuels, compost, char, sorting, energy valorisation

Waste characterisation is essential to determine the mode of the best adapted treatment. Indeed, according to the composition of a waste, after preliminary sorting, every fraction can be directed to appropriate sectors of treatment. Have a representative sample of a waste allows to determine its rate of humidity (or the content in dry material, its ash content (on dry matter), the report (relationship) volatile matters on dry material(subject), the presence of diverse potential pollutants as well as its lower calorific value (NCV in MJ/kg). On base of this characterization, various ways of treatment such as composting, biomethanisation or thermal treatments can be then examined on the plans of material and energy valorisation. The presentation of the various ways of treatment should allow to favour the choice of a treatment by respecting environmental requirements, by taking into account local circumstances and to be realized in economically acceptable conditions with the essential objective of a sustainable development.

1. INTRODUCTION

Les déchets sont générés régulièrement tout au long de l'année en ce qui concerne par exemple les ordures ménagères ou selon les saisons pour les déchets de fruits, de cultures, etc.

Malheureusement, les déchets sont souvent associés à la détérioration de notre environnement et à de multiples risques pour la santé humaine.

Sous l'angle technologique, les principaux secteurs concernés par la maîtrise des impacts environnementaux sont ceux des économies d'énergie, de la dépollution des eaux, du traitement des effluents

gazeux et de la gestion des déchets solides. Les déchets solides regroupent toute la variété des espèces chimiques minérales ou organiques, naturelles ou synthétiques, seules ou en mélange.

L'objectif de ce document est d'aider à orienter le choix entre les multiples stratégies de valorisation du contenu matière et énergie des déchets solides en fonction de la caractérisation des diverses fractions en se basant sur les techniques de traitements existantes.



2. ANALYSE DE LA STRATEGIE DES VOIES DE VALORISATION DES FLUX DE DECHETS

Les déchets sont constitués d'humidité, de matières organiques et de matières minérales métalliques ou non métalliques (analyse immédiate).

Tous les déchets sont potentiellement valorisables et ce en fonction de leur nature chimique, de leurs propriétés mécaniques, physico-chimiques ou de leur pouvoir calorifique (PCI). Dans le cas des déchets solides, lorsqu'ils sont hétérogènes, chaque catégorie de déchets, voire chaque fraction au sein d'une catégorie, doit être envisagée pour effectuer le choix d'une voie de traitement.

Il est donc évident qu'un tri préalable de ces déchets s'impose. Après un tri à la source (par exemple pour les ordures ménagères), la mise en œuvre de procédés de séparation physiques, mécaniques permettent de générer diverses fractions recyclables ou valorisables. Un déchet peut donc être valablement traité par différentes filières. Les voies de valorisation des traitements de déchets sont classées hiérarchiquement en:

A. Valorisation matière:

- en agriculture et en élevage;
- en matériaux

B. valorisation énergie:

- combustibles de substitution
- électricité

C. élimination

2.1. Valorisation matière

En agriculture et élevage: Le secteur agricole a de tout temps utilisé des déchets, en particulier ceux de sa propre activité. Des filières plus larges se sont développées avec le compostage de la fraction organique des ordures ménagères, l'épandage des boues de stations d'épuration ou bien encore l'alimentation animale (déchets alimentaires, farines...). Certains déchets (sable, chaux...) sont utilisés également comme amendements minéraux ou pour améliorer les propriétés des sols de culture.

En industries dédiées: Ces industries permettent la récupération notamment de certaines matières plastiques, de métaux, de verre, de papiers...

2.2. Valorisation énergétique

2.2.1. Obtention de combustibles de substitution par des procédés biologiques

Lorsque les déchets hydrocarbonés sont biodégradables, on peut mettre en œuvre des fermentations méthaniques ou alcooliques qui conduisent à la production de biogaz ou d'alcool qui sont utilisés ensuite comme combustibles gazeux ou liquides homogènes.

2.2.2. Obtention de combustibles de substitution par des procédés thermiques

Des procédés comme la pyrolyse, la thermolyse, la gazéification permettent de transformer, en atmosphère non ou peu oxydante, les molécules hydrocarbonées des déchets en combustibles liquides, gazeux ou solides en jouant sur différents paramètres (pression, température...).

2.2.3. Production d'électricité

Les traitements thermiques de déchets en version intégrée permettent une valorisation directe en électricité via turbines ou moteurs à gaz. Ces technologies (pyrolyse et gazéification intégrées) présentent un intérêt particulier puisqu'elles permettent de fournir l'électricité aux populations de manière économique en valorisant leurs déchets.

2.3. Elimination

Les centres d'enfouissement techniques (CET) des déchets solides communément dénommés décharges peut générer des nuisances au niveau des gaz et lixiviats s'ils ne sont pas contrôlés. Les directives européennes ont prévu de n'utiliser les décharges à l'avenir que pour des résidus ultimes après traitement préalable du déchet brut.

Pour faire un choix adéquat d'une (ou de plusieurs) filières pour un déchet donné, il est important d'utiliser un outil décisionnel. Ce choix dépendra essentiellement de :

- la connaissance de la composition du déchet (analyse immédiate et élémentaire) du déchet;
- des quantités et de la dispersion des déchets à traiter;
- des contraintes socio-économiques locales.

La difficulté d'installer des unités de traitement est liée surtout à l'accroissement des coûts exigés par un traitement des déchets particuliers et donne à leur gestion une importance nouvelle qui doit être prise en considération par les autorités locales.

3. VOIES DE TRAITEMENT

La connaissance du déchet est primordiale si l'on souhaite déterminer le mode de traitement le mieux adapté en tenant compte des circonstances locales et avec l'objectif essentiel d'un développement durable. En effet, en fonction de la composition d'un déchet, le choix d'une valorisation matière ou énergie doit être effectué dans des conditions économiquement acceptables tout en respectant les contraintes environnementales. En tout état de cause, un tri préalable du déchet pour séparer les fractions valorisables séparément est hautement souhaitable. La connaissance des caractéristiques du déchet permet d'orienter vers un choix de filière approprié.

On distingue les voies de traitements thermiques tels que l'incinération, la coïncinération, la calcination, la pyrolyse et la gazéification ainsi que voies de traitements de type biologique tels que le compostage et la biométhanisation.

3.1. Gisement pour une valorisation matière

La fraction fermentescible des déchets renferme un potentiel considérable en tant que source d'énergie renouvelable et matériaux recyclés. Si c'est déchets sont mis en décharges non contrôlées, ils se décomposent et produisent des gaz et lixiviats de décharge. Ce gaz, composé principalement de méthane, contribue fortement à l'effet de serre s'il n'est pas récupéré. A l'inverse, ces déchets peuvent faire l'objet d'une valorisation énergétique en récupérant ce biogaz par biométhanisation. En effet, une tonne de substances fermentescibles subissant un traitement biologique peut produire jusqu'à 500 m³ de biogaz.

D'autre part, la fraction fermentescible des déchets ménagers peut faire l'objet d'une valorisation matière organique par leur transformation en **compost**, dont les atouts environnementaux sont importants, notamment dans un pays agricole:

- l'utilisation du compost en tant qu'amendement pour sols ou engrais présente des avantages agronomiques comme l'amélioration de la structure du sol et de l'apport de nutriments, le recyclage du phosphore, en particulier, pouvant réduire la nécessité des apports d'engrais minéraux et le remplacement de la tourbe permettant de réduire les dégâts causés aux écosystèmes des zones humides;
- une meilleure capacité de rétention de l'eau facilite le travail des sols et peut contribuer à prévenir les inondations (capacité d'absorber l'eau importante);
- l'utilisation du compost permet de lutter contre l'appauvrissement progressif des sols en matière organique.

C'est la raison pour laquelle il semble évident que les traitements les mieux adaptés aux déchets organiques sont le compostage (fermentation aérobie des déchets) et la biométhanisation (fermentation anaérobie).

3.1.1. Compostage

Le compostage est un traitement biologique en milieu fortement oxygéné de déchets ou matières fermentescibles. Il permet une valorisation matière organique, en transformant ces matières en un compost susceptible d'être introduit comme amendement dans les sols. A défaut, son utilisation reste possible dans le cadre d'un plan d'épandage. Les principaux déchets traités par compostage sont les déchets verts (tontes de pelouses, feuilles) parfois en mélange avec des boues d'épuration urbaines ou industrielles, puis des déchets

agro-alimentaires, déchets de cuisine, effluents d'élevage (fientes, fumiers), ainsi que les déchets ménagers. Le compostage peut être réalisé sur des installations industrielles mais aussi à domicile ou dans le cadre d'un compostage de quartier.

3.1.2. Biométhanisation

La biométhanisation est basée sur la dégradation par des micro-organismes de la matière organique, en conditions contrôlées et en l'absence d'oxygène, qui aboutit à la production :

- d'un produit humide riche en matière organique partiellement stabilisée appelé digestat : celui-ci peut être épandu sur des terres agricoles sous réserve du respect d'exigences de qualité agronomique et sanitaire ou devenir, après une phase de compostage et de maturation, un amendement organique, s'il satisfait à des critères de qualité ;
- de biogaz, mélange gazeux saturé en eau à la sortie du digesteur et composé d'environ 50 % à 70 % de méthane (CH₄), de 20 % à 50 % de CO₂ et de quelques gaz traces (NH₃, N₂, H₂S) ; épuré et enrichi, il peut être valorisé sous différentes formes (électricité, chaleur, carburant).

La biométhanisation permet donc en principe, si on utilise le digestat en épandage, une valorisation énergétique et organique. Il existe quatre secteurs favorables au développement de la méthanisation : agricole, industriel, déchets ménagers, boues urbaines. Concernant la valorisation des déchets ménagers, le compostage est le traitement le plus adapté pour les déchets verts et les matières ligneuses alors que la méthanisation est particulièrement adaptée au traitement des déchets fermentescibles humides.

En résumé, le compostage et la biométhanisation peuvent être réalisés sur la fraction fermentescible, de manière la plus rentable, soit collectée séparément par tri sélectif par l'habitant.

Le tri vise à fractionner les déchets et à isoler progressivement certains éléments valorisables en tant que matériaux (métaux, plastiques, verre), déchets fermentescibles ou déchets non biodégradables à fort pouvoir calorifique (PCI). Les divers objectifs de tri sont:

- d'améliorer les taux de recyclage en triant et en isolant les matériaux recyclables;
- d'extraire une fraction organique destinée, après traitement, à retourner au sol sous forme de compost ou par biométhanisation avec production de biogaz pour les fermentescibles;
- d'améliorer la valorisation énergétique par traitements thermiques pour les refus de tri tels que mélanges de matière organique résiduelle, de plastiques, de bois, et de matières minérales.

3.2. Gisement pour une valorisation énergie : traitements thermiques - incinération, gazéification et thermolyse.

Si la valorisation matière organique est recommandée par l'utilisation du compost ou de biogaz, l'objectif général de diminution des quantités de déchets solides mis en décharge doit être poursuivi en tenant compte des investissements importants à réaliser pour éviter la pollution engendrée par les décharges sauvages. Les choix de modes de traitements doivent être adaptés aux situations locales.

Le fait d'orienter les déchets fermentescibles vers d'autres modes de traitement diminue les fractions humides à traiter par des procédés thermiques et en accroît le pouvoir calorifique inférieur (PCI) et la performance énergétique.

Les traitements thermiques mettent en œuvre, selon les conditions opératoires, une volatilisation des matières organiques, une décomposition ou une dégradation en gazéification ou pyrolyse et une destruction par oxydation thermique, en combustion. Ces traitements thermiques nécessitent de prévoir une unité de traitement des fumées dont le dimensionnement dépend de la nature des polluants et des technologies appliquées. Ces différentes voies de traitement thermique des déchets sont illustrées dans le tableau 1.

Tableau 1: Mode de traitement thermique des déchets solides

Incineration et co-incineration	Combustion spontanée <i>excès d'air</i>	Pas de combustible d'appoint T > 850°C
Gazéification	Carbonisation <i>défaut d'air</i>	Production d'un gaz combustible pauvre T≈850°C
Pyrolyse	Carbonisation <i>absence totale d'air</i>	Production de combustibles gazeux, liquide et solide T≈550°C

3.2.1. Incinération

L'incinération des déchets solides bénéficient de plusieurs technologies, certaines sont disponibles et d'autres en cours de développement. Actuellement, la technique de combustion sur grille est la mieux adaptée au traitement des fractions résiduelles résultant de la valorisation matière recyclage, compostage, méthanisation ou des filières de production de combustibles dérivés de déchets. De surcroît, les techniques alternatives telles que la technique du lit fluidisé sont incompatibles avec le caractère hétérogène des déchets ménagers car elle requiert une préparation exigeante du gisement, génératrice de surcoûts. Dans cette technique, les déchets, broyés, alimentent un four où ils entrent en contact avec du sable porté à 850°C. Les déchets et le sable sont brassés par injection d'air afin d'assurer une combustion homogène des ordures.

Cette technique nécessite en effet de trier et de broyer les déchets avant l'incinération retrait des métaux ferreux par électro-aimant, séparation des objets lourds et légers par tri aéraulique.

3.2.2. Pyrolyse

La pyrolyse (thermolyse) des déchets solides reste un procédé qui, comparé à l'incinération présente l'avantage de produire un combustible stockable et transportable et d'émettre une quantité plus faible de polluants atmosphériques. En revanche, ce sont des procédés qui produisent des gaz chauds (condensables ou non-condensables) et un combustible solide (le char) dont les débouchés doivent être assurés. La pérennisation de ces produits est difficile dans les pays industrialisés là où les spécificités et les normes des produits dérivés sont strictes. Un tel procédé peut avoir un intérêt tout particulier dans d'autres pays moins industrialisés qui pourraient utiliser les produits gazeux et solides issus de la pyrolyse comme combustibles de substitution pour générer de l'électricité.

3.2.3. Gazéification

La gazéification des déchets consiste à les chauffer à une température supérieure à 850 °C, en présence d'une quantité limitée d'oxygène. Le gaz combustible de synthèse produit présente l'avantage de limiter les rejets atmosphériques de polluants vu les hautes températures qui limitent les substances imbrulées et réduisent la formation de dioxines. Le gaz de synthèse produit peut être soit brûlé directement pour valoriser son énergie, soit épuré pour une production d'électricité par moteur à gaz.. En comparaison à une incinération classique de déchets avec production d'électricité (par turbines à vapeur), le bilan électrique net est très favorable grâce au rendement élevé des moteurs à gaz.

4. CONCLUSION

L'adaptation des décharges pour la récupération du biogaz ou le compostage de la fraction fermentescible issu du tri des déchets solides ménagers ou industriels sont les voies privilégiées dans le cadre du contexte local des pays de l'Afrique centrale. Cependant, les filières de traitement thermiques sont des voie alternatives qui présentent l'avantage de transformer la fraction organique des matières contenues dans les déchets en combustibles de substitution avec la possibilité de produire de l'électricité dans des régions qui en sont dépourvues. Ces solutions sont à examiner dans le cadre d'un développement durable avec valorisation de déchets solides spécifiques et caractérisés, pour une production d'énergie utile à moyen et long terme.

REFERENCES

- A. Fontana et C. G. Jung (1999) . Recyclage et valorisation des déchets ménagers », G. Miquel, Rapport 415 (98-99), Ed. Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques , Ref.1693, pp166-189 <http://www.senat.fr/rap/o98-415/o98-415.html>
- Dongqing Zhang a, Tan Soon Keat b, Richard M. Gersberg (2010). *A comparison of municipal solid waste management in Berlin and Singapore*”, Waste Management 30, 921–933 ,
- S. M. Al-Salem, P. Lettieri and J. Bayens (2009) . *Recycling and recovery routes of plastic solid waste: A review*, Waste Management 29, 2626-2643
- A. Fontana, B. Weis, C. G. Jung, C. Braekman-Danheux, Ph. Laurent (1997) . Pyrolysis of municipal solid waste: an additional technique for waste management. *Environmental Protection Bulletin*, IChem^E, 48, 15-20,
- A. Fontana et C. G. Jung (2003). Préparation thermique de combustibles alternatifs par biométhanisation, thermolyse et gazéification ». *Les techniques de l'Industrie Minérale*, 18: 95-100
- C. G. Jung and A. Fontana (2006) . Pyrolysis and gasification of mixed plastics. Production of substitution fuels, Feedstock Recycling and Pyrolysis of Waste plastics. Chapitre 10: p 251-284.
- C. G. Jung (2008) . Pyrolysis and gasification of industrial waste towards substitution fuels”, High Temperature materials and processes, 27, N°5: 299
- C.G. Jung (2008) . Modèle prédictif et étude de cas des techniques thermiques dans Les Ouvrages de l'Industrie Minérale, volume 1, «le Recyclage» p. 283
- A. Fontana et C. G. Jung (2008) . Les aspects stratégiques du recyclage: les moteurs Société et Entreprise, Recyclage & Valorisation des matières résiduelles et des déchets, Société de l'Industrie Minérale, volume 1, « le Recyclage », p79
- A. Fontana (2011) . La Planète et l'Homme, Working Papers CEB 11-051, Université Libre de Bruxelles. <https://dipot.ulb.ac.be/dspace/bitstream/2013/101480/3/wp11051.pdf>,
- O. Ioannidou, C. G. Jung and A. Zabaniotou (2011). A thermogravimetric model to predict yield product distribution in pyrolysis of agricultural biomass, *Catalyst Today*, 167
- M. Daniel Soulage, Rapport d'information sur les déchets, N° (2010), Sénat français <http://www.senat.fr/rap/r09-571/r09-5711.pdf>



Impact des collecteurs d'eaux pluviales sur la baie Nord-Est du lac Tanganyika

Ndikumana Th¹., Bizindavyi E²., Kisoholo A.³ et Vasel J.L.⁴

¹ Université du Burundi, Département de Chimie; theo.ndikumana@gmail.com;

² Lycée de Rutovu;

³ Université Catholique de Bukavu;

⁴ Université de Liège, Unité Assainissement et Environnement, 6700 Arlon, Belgique

Reçu: le 11 Avril 2013

Accepté: le 19 Octobre 2013

Publié: le 11 Novembre 2013

RESUME

Mots-clés: Bujumbura, collecteurs d'eaux pluviales, débit, charge polluante, lac Tanganyika

Le centre de la ville Bujumbura est traversé par des collecteurs d'eaux pluviales qui débouchent dans la baie Nord-est du lac Tanganyika. Ces collecteurs, simplement dénommés R1, R2, R3, R4 et R5 se concentrent entre l'ancien Cercle nautique et le port de Bujumbura. La présente étude porte sur la mesure des paramètres de pollution et du débit des collecteurs R1, R2 et R3. Les paramètres de pollution, mesurés par l'utilisation des kits de réactifs et évalués par un photomètre sont la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO₅), les ions ammonium, nitrate et phosphate. Ils permettent d'établir le pollutogramme de ces collecteurs. Le débit a été mesuré par la méthode d'injection de bulles en période sèche et en période humide. Les variations du débit, au cours de la journée, permettent d'évaluer l'hydrogramme du collecteur. Le débit journalier étant de 9446 m³ ces valeurs nous permettent d'évaluer la charge polluante déversée dans la baie Nord-Est du lac Tanganyika à hauteur de: DCO: 11269 kg; DBO₅: 1195kg; NO₃: 87 kg; NH₄: 113 kg; PO₄: 61 kg. Ces quantités de polluants riches en nutriments expliquent la prolifération de plantes dans la zone sous étude avec risque d'eutrophisation de la baie.

ABSTRACT

Key words: Bujumbura, storm drains, flow measurement, pollution load, Lake Tanganyika

The downtown Bujumbura is crossed by storm drains that flow into the bay North of Lake Tanganyika. These collectors, simply referred to as R1, R2, R3, R4 and R5 are concentrated in the former Yacht Club and the port of Bujumbura. This study focuses on the measurement of pollution parameters and flow collectors R1, R2 and R3. Pollution parameters, as measured by the use of reagent kits and measured by a photometer are the chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD₅), ammonium, nitrate and phosphate. They help establish the pollutogram of these collectors. The flow rate was measured by the bubble injection method in the dry season and wet season. Flow variations during the day allow evaluating the hydrogram manifold. Given the daily flow of 9446 m³, the measured values of the pollution parameters allow us to assess the pollution load discharged into the North- East Bay of Lake Tanganyika up to: COD: 11269kg; BOD₅: 1195kg; NO₃: 87kg; NH₄: 113kg; PO₄: 61kg. These quantities of nutrient rich pollutants explain the growth of plants in the area under study with risk of eutrophication of the bay.

1. INTRODUCTION

Le centre de la ville Bujumbura est traversé par des collecteurs d'eaux pluviales qui débouchent dans la baie Nord-Est du lac Tanganyika. Ces collecteurs, simplement dénommés R1, R2, R3, R4 et R5 se concentrent entre l'ancien Cercle nautique de Bujumbura et le port (Fig. 1).

Lorsque la mer (ère) nourricière est malade, l'enfant est aussi malade ! Déjà à l'époque de Plin

l'Ancien, la mer des Romains était baptisée « Mare Nostrum » (notre mer), pour signifier que c'était leur propriété (jusqu'aux limites géographiques) qu'il fallait protéger à tout prix. Le lac Tanganyika est par excellence notre « Mare Nostrum »: nous y puisons l'eau de consommation, les poissons de divers usages; c'est la voie navigable de communication avec l'East African Community qui achemine un tonnage important de biens de consommation, etc. La baie Nord-Est de notre lac présente un aspect qui interpelle notre conscience.



En effet, outre que le poisson s'y est raréfié, il s'y développe des plantes qui font penser à un apport important de nutriments qui favorisent cette prolifération. La figure 1 présente l'ensemble des collecteurs d'eaux pluviales qui aboutissent dans la baie Nord-Est du lac Tanganyika. De façon générale, les eaux de pluie se chargent de poussières de l'air, lessivent les toitures, les trottoirs et les chaussées, rejoignent le réseau d'assainissement, érodent les dépôts se trouvant dans les collecteurs avant de rejoindre le milieu récepteur. Le développement croissant des infrastructures dans la ville de Bujumbura au cours des dernières décennies génère une quantité très importante de polluants. Il est connu que les rejets urbains de temps de pluie sont l'un des vecteurs principaux des polluants des eaux de surfaces. Ces polluants provoquent la dégradation de la qualité écologique et/ou des fonctions d'usage des milieux aquatiques (Petavy, 2007). C'est ce qu'illustre la figure 2. Un certain nombre de raisons

militent donc pour l'étude de l'impact de ces collecteurs d'eaux pluviales sur cette baie:

- Ils drainent des eaux aussi bien par temps sec que par temps de pluie et l'odeur de ces eaux par temps sec est assez repoussante;
- Des plantes se développent sur tout le littoral sous influence de ces collecteurs comme l'indique la figure 3A,B;
- Le service de traitement et de distribution d'eau potable puise l'eau brute à 3 km en face de ces collecteurs.

De plus, le suivi du tracé de ces collecteurs révèle que des raccordements sauvages d'eaux usées domestiques sont pratiqués sans aucun contrôle comme le montre la figure 3C,D.

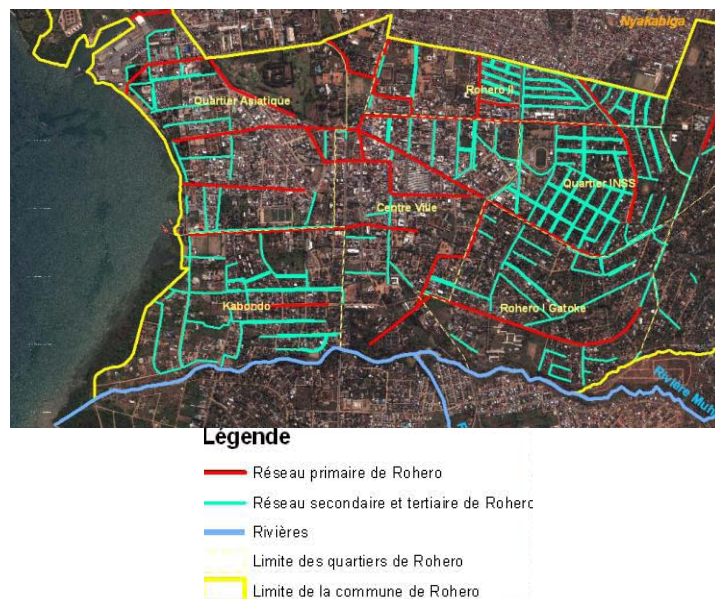


Fig. 1: Réseau d'eaux pluviales de la Commune Rohero

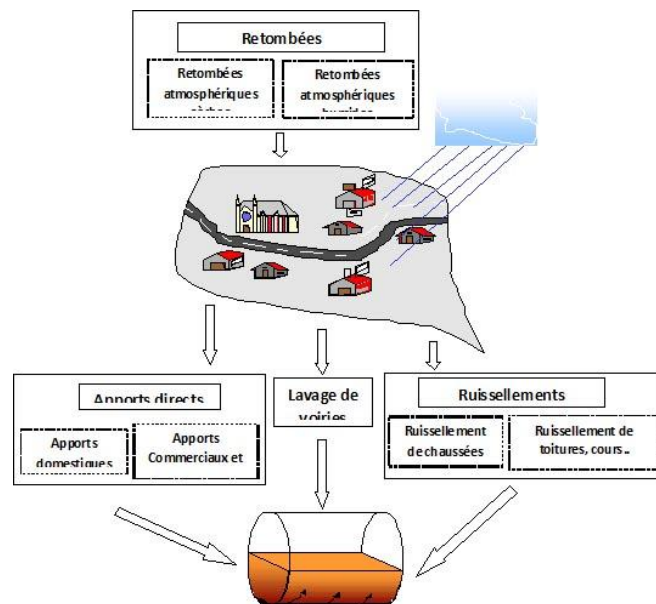


Fig. 2: Quelques sources de pollution de l'eau (MOUNIRA, 2006)



Fig. 3A-D: A,B: Eutrophisation provoquée par le flux polluant des collecteurs R₂ (à gauche) et R₃ (à droite); C,D: eaux usées et raccords de 110 mm sur le collecteur R2

Afin de cerner un tant soit peu cette problématique, nous allons nous intéresser au débit d'eau drainée par les collecteurs R1, R2 et R3 ainsi qu'aux paramètres indicateurs de pollution que sont la demande chimique en oxygène, la demande biochimique en oxygène, les ions ammonium, nitrates et phosphates.

2. METHODOLOGIE

Comme indiqué à la figure 1, tous les trois collecteurs prennent naissance au centre de la ville. Le collecteur R1 longe l'avenue du 13 Octobre, reçoit essentiellement le trop plein de l'usine d'eau du lac Tanganyika, se charge en produits de lavage des voitures, des moteurs et de nettoyage divers pour enfin se jeter dans le lac. Les collecteurs R2 et R3 prennent naissance au centre ville de part et d'autre du marché Central de Bujumbura, se chargent de polluants issus du nettoyage du marché, des chaussées, traversent le quartier asiatique densément peuplés, avec diverses activités industrielles et de mécanique automobile.

La mesure du débit a été réalisée avec un injecteur de bulles d'air dont le schéma est repris à la figure 4 (Dufaty et al., 1994). Le principe de mesure consiste à l'injection de bulles au fond du cours d'eau qui, en remontant à vitesse constante, se déplacent vers l'aval jusqu'à atteindre la surface. Une mesure de la distance horizontale parcourue par les bulles pendant leur remontée entre le fond et la surface est effectuée en plusieurs points répartis sur la largeur du collecteur. En reliant entre eux les différents points de sortie des bulles, une surface (S) peut être déterminée. Elle est directement proportionnelle au débit.

Si t est le temps de séjour de la bulle dans l'eau et en admettant que la vitesse de remontée des bulles V_r est constante, on peut écrire:

$$t = \frac{D}{V_a} = \frac{Z}{V_r} \quad \text{avec} \quad \overline{V_a} = \frac{\int_0^Z V_a(z).dz}{Z}$$

Quelques transformations permettent d'éliminer Z et supprimer ainsi la dépendance en la profondeur, pour obtenir :

$$D.V_r = \int_0^Z V_a(z).dz$$

Le débit étant par définition égal à l'intégration des vitesses d'écoulement sur l'ensemble de la section et en considérant que la bulle se déplace à la même vitesse que la masse d'eau dans laquelle elle se trouve, on obtient :

$$Q = \int_0^x D(x).V_r.dx$$

En appliquant l'hypothèse que la vitesse de remontée de la bulle est constante, on obtient :

$$Q = V_r \int_0^x D(x).dx \quad \text{ou}$$

$$Q = V_r * S$$

Le coefficient V_r est pris égal à 0,02956.

La mise en œuvre de la technique est conduite en notant les distances parcourues par les bulles, tout en retranchant le décalage existant entre la perche et l'injecteur. Le calcul de la surface (S) est effectué par la méthode des trapèzes dont la formule revient à

$$S = \sum_{i=1}^{i-1} \left[L_x \left(\frac{D_{x_i} + D_{x_{i+1}}}{2} \right) \right]$$

Où L_x = intervalle entre les points d'injection des bulles et D_{x_i} = la distance parcourue par les bulles. Un exemple de mesure du débit est donné à la figure 7.

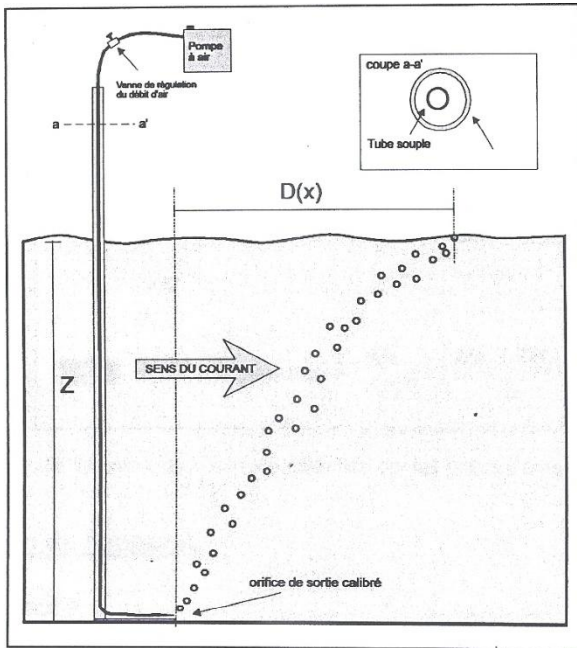


Fig. 4: Schéma de l'appareil à injection de bulles

La demande chimique en oxygène (DCO) est mesurée avec des tubetests contenant tous les réactifs nécessaires à la minéralisation et à l'apparition de la couleur. L'évaluation est faite au photomètre Palintest. Il en est de même pour les ions ammonium et phosphates. La demande biochimique en oxygène (DBO) est mesurée avec des bouteilles OxyTop® dans lesquelles nous introduisons une quantité d'échantillon indiquée pour la gamme de DBO estimée. Le tout est placé dans un incubateur qui assure une température constante de 20°C. La figure 5 montre tout l'équipement utilisé pour ces deux paramètres.



Fig. 5A-C: A : minéraliseur, B : photomètre Palintest, C : DBO-mètre

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les mesures du débit en fonction des heures de la journée, par temps sec, se présentent telles qu'illustrées à la figure 6. La variation des points d'émergence étant liée à la variation du débit, on conclut que celui-ci est directement lié aux activités humaines, signe éloquent que des connexions d'eaux usées des ménages sont pratiquées comme l'a montré la figure 4. Les variations du débit, au cours de la journée et sur une période d'environ un mois, ainsi que les valeurs des paramètres de pollution permettent d'établir le pollutogramme de ces collecteurs (Assamoi et al, 2009). Un exemple en est donné à la figure 7 pour le collecteur R2. Le traitement des données recueillies sur les trois collecteurs permet de dresser le tableau 1 qui en présente la synthèse.

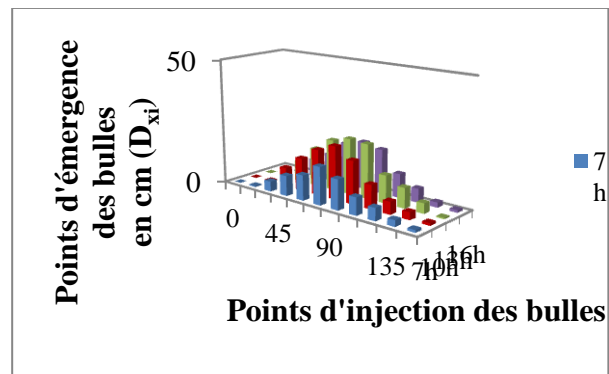


Fig. 6: Exemple de mesure du débit du collecteur R2 en fonction des heures de la journée

Tableau 1: Valeurs des paramètres de pollution véhiculée par les collecteurs aériens par temps sec

Collecteur	R1	R2	R3
Paramètres			
pH	8.52 - 9.1	7.62	7.55
Conductivité (µS/cm)	1542	990	2674
Débit (m ³ /j)	3980	2160	3306
DCO (mg O ₂ /l)	676	209	308
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	39	51.5	114
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0.06	7.61	1.58
NH ₄ ⁺ (mg/l)	2.44	2.7	6.86
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0.45	0.56	5.5

Les moyennes adimensionnelles, obtenues en divisant les valeurs des paramètres par leurs moyennes, montrent que tous les paramètres passent par un maximum à la même période de la journée par temps sec. Par temps de pluie, on tend vers une égalisation.

Tenant compte des débits véhiculés, ainsi que des valeurs de chaque paramètre de pollution, on calcule, par la relation suivante, le flux polluant déversé dans le lac Tanganyika:

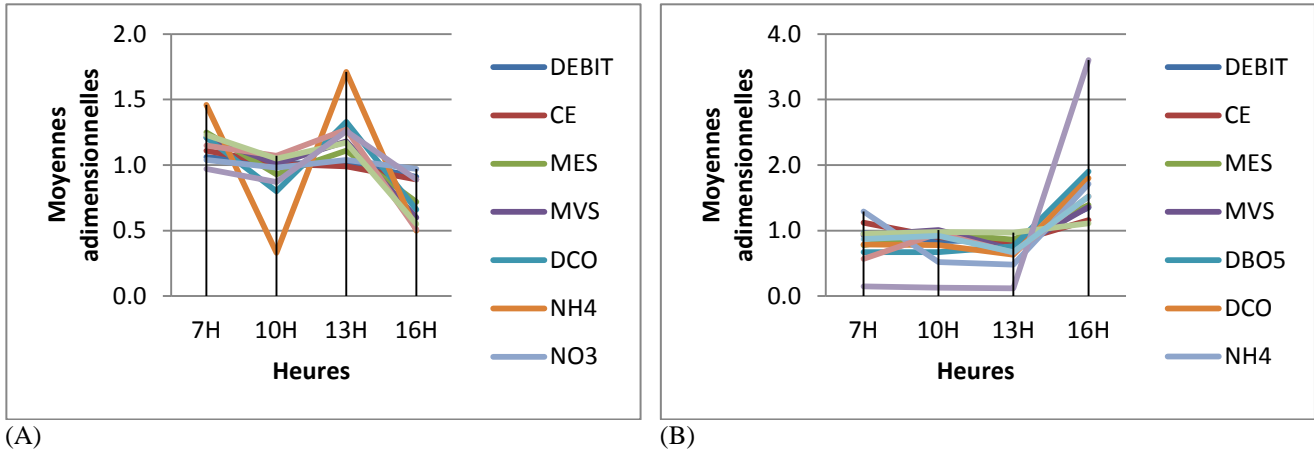


Fig. 7A-B: Pollutogramme du collecteur R2 par temps sec (A) et par temps de pluie (B)

$F \text{ (kg/j)} = Q_i \times C_i \times \Delta t_i$ où F est le flux polluant, Q_i le débit, C_i la concentration d'un polluant donné et Δt l'intervalle de temps entre deux mesures. Le tableau 2 donne le flux de matières déversées journalièrement dans la baie Nord-est du Lac. Il est intéressant d'observer que les trois collecteurs véhiculent des polluants de nature assez différente. En effet, le rapport DBO/DCO vaut 0.06, 0.25 et 0.37 respectivement pour R1, R2 et R3. Un rapport aussi faible pour R1 est indicatif de polluants peu biodégradables comme l'indique la présence fréquente d'huiles minérales. Par contre, les deux autres collecteurs ont un rapport indicatif d'une biodégradabilité notable, surtout les eaux du collecteur R3 dont l'odeur repoussante par moment présage de la présence de matières organiques en décomposition avancée.

Le fait que la charge polluante augmente notablement par temps de pluie appelle quelques considérations :

- L'effet de premier flot ne peut expliquer à lui seul cette augmentation. Une enquête menée dans d'autres quartiers de Bujumbura sur le mode d'évacuation des déchets solides révèle que les gens se débarrassent des divers déchets vers les canaux d'évacuation des eaux de pluies (Ndayizeye, 2012);
- Le fait que le rapport DBO/DCO reste presque identique par temps sec que par temps de pluie montre que la pollution véhiculée est surtout particulière.

Le pH de l'eau du lac Tanganyika est voisin de 9. L'azote ammoniacal déversé dans le lac sera notablement sous forme de NH_3 ($\approx 40\%$) (Fresenius, 1988), forme extrêmement toxique pour les poissons. A terme, l'eau de consommation puisée dans le lac et traitée au chlore pourrait se charger de chloramines avec d'éventuelles incidences sur l'organisme.

Tableau 2 : Flux polluant envoyé dans la baie Nord-est du lac Tanganyika en kg/j

Collecteur \ Polluant	R1		R2		R3	
	sec	pluie	sec	pluie	sec	pluie
DBO ₅	155	-	111	553	544	1015
DCO	2690	-	413	1634	918	6837
NH_4^+	9.7	-	4.8	5.8	30	85
NO_3^-	2.3	-	16.4	21.7	5.2	-
PO_4^{3-}	1.8	-	0.3	8.9	27	45

4. CONCLUSION

La méthode par injection de bulles nous a permis de connaître le débit d'eau drainée par les trois collecteurs étudiés. La mesure des paramètres principaux de pollution révèle une pollution importante des eaux drainées qui impacte négativement sur la baie Nord-Est du lac Tanganyika. Ce débit permet d'évaluer la charge polluante que ces collecteurs rejettent journalièrement, suivant les conditions climatiques, soit 111 à 1015 kg de DBO, 413 à 6837 kg de DCO, 2.4 à 85 kg de NH_4^+ , 2.4 à 21.7 kg de NO_3^- et 0.3 à 45 kg de PO_4^{3-} .

Les quantités de nutriments (azote et phosphore) envoyés dans le lac expliquent largement la prolifération de plantes qui finissent par s'approprier les berges au détriment des activités de plaisance. Cet ensemble d'observations militent pour une gestion différente des eaux véhiculées par ces collecteurs en vue d'une meilleure protection du lac Tanganyika. En particulier, une législation rigoureuse et un contrôle régulier en matière d'occupation du sol pour décourager les connections sauvages vers le réseau d'eaux pluviales. Dans le même ordre d'idées, la législation obligerait à chaque occupant de parcelle de creuser un puisard pour gérer l'eau de pluie à l'intérieur de la parcelle.

Enfin, étant donné que l'eau de ces collecteurs a un caractère d'eau usée domestique, il est urgent de

gérer ces eaux dans la station de traitement en service aujourd'hui. Un bassin d'orage serait également conçu, ainsi qu'un programme de suivi régulier des paramètres de pollution pour une gestion saine des eaux de pluie.

BIBLIOGRAPHIE

1. Assamoi, B.A., Coulybaly, L. et Savanei, I. (2009) . Dynamique comparée des nutriments (N,P) et des solides dans deux collecteurs d'eaux pluviales anthropisés par les rejets industriels et domestiques à Abidjan; Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X, Vol 25,N2, 280-289
2. Dufayt , O., Nameche, Th., Vasel, J. L., Edeline, F. (1994) . *Une méthode simple de mesure de débit dans les chenaux à écoulement libre. Système à injection de bulles.* Fondation Universitaire Luxembourgeoise, Université de Liège.
3. Fresenius, W., Quentin, K.E., Schneider, W. (Eds.), (1988), *Water Analysis.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
4. Mounira, K. B. (2006) . *Variabilité spatiale des caractéristiques et des origines des polluants de temps de pluie dans le réseau d'assainissement unitaire parisien,* Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 500 p.
5. Ndayizeye, W. (2012) . *Mémoire de Maîtrise.* Université de Liège, Uae, 6700 Arlon.
6. Petavy, F. (2007) . *Traitement et valorisation des sédiments de l'assainissement pluvial,* Thèse de Doctorat, Université de Nantes. Thèse de doctorat, Université de Nantes, 282 p.



Analyse des traits biologiques au cours de la dynamique post-culturelle: cas des jachères de la zone périphérique de la Réserve naturelle forestière de Bururi

Frédéric Bangirinama⁽¹⁾, Tatien Masharabu⁽²⁾ & François Havyarimana^(2,3)

⁽¹⁾ Ecole normale supérieure (ENS), BP 6983, Bujumbura; bangifre2003@yahoo.fr

⁽²⁾ Université du Burundi (UB), BP 2700 Bujumbura;

⁽³⁾ Laboratoire d'Ecologie du Paysage, Université Libre de Bruxelles, École Interfacultaire de Bioingénieurs, CP 169, Av. F. D. Roosevelt 50, B-1050 Bruxelles.

Reçu: le 11 Avril 2013

Accepté: le 29 Octobre 2013

Publié: le 15 Novembre 2013

RESUME

Mots clés: Paramètres floristiques, dynamique post culturale, Burundi

Une étude synchronique a été réalisée dans les jachères réparties en trois classes d'âges (0-2 ans, 3-5 ans et plus de 5 ans) et situées dans la périphérie de la Réserve Naturelle Forestière de Bururi (Burundi). L'objectif poursuivi était de montrer que l'évolution des traits biologiques pendant la dynamique post culturale peut traduire le stade de la succession. Les traits retenus étaient les types biologiques, phytogéographiques, foliaires et des diaspores. Après traitement des données, 4 groupements floristiques ont été individualisés. L'analyse de l'évolution des traits biologiques met en évidence que les stades jeunes sont caractérisés par les thérophytes à diaspores sclérochores souvent anémochores, tandis que les stades âgés sont dominés par des phanérophytes à diaspores sarcochores essentiellement zoochores. La proportion des espèces à large distribution diminue avec l'âge de la jachère contrairement aux espèces à distribution régionale. Une augmentation progressive avec l'âge de la jachère d'espèces mésophylles et une diminution d'espèces leptophylles ont été observées.

ABSTRACT

Key words: Floristic parameters, post cultivation dynamic, Burundi

A synchronic study was led in three age classes of fallows (0-2 years, 3-5 years and more than 5 years) located in the boundary of the Bururi national forest reserve (Burundi). The aim was to show that the evolution of the floristic parameters during the post cultivation dynamic can reveal the succession stage. Those parameters were: biological and phytogeographic types, leaf size and seeds dispersion. The data analysis gave four floristic associations. The young stages are characterized by sclerochorus herbaceous (therophytes) with often anemochorus dispersion, while the old stages are dominated by sarcochorus phanerophytes with essentially autochorus dispersion. The number of large distribution species decreased with the fallow age in contrary to the regional distribution species. The increased of number's species with large leafs in size and the regression of species with small leafs in size were observed during the post cultivation dynamic.

1. INTRODUCTION

La régénération naturelle est la faculté d'un écosystème à se reconstituer spontanément, après destruction de tout ou partie du couvert forestier. Dans le fonctionnement normal, le maintien de la communauté est assuré par le remplacement d'individus morts par d'autres (Serpantié & Devineau, 1991). Les anciennes friches abandonnées et mises en jachères constituent un bon exemple de régénération naturelle connue sous le vocable de dynamique post culturale. Les jachères représentent, d'une part, une voie de reconstitution des potentiels biologiques des milieux naturels et constituent, d'autre part, un champ

expérimental de choix pour une approche naturaliste en vue d'étudier la résilience écologique et la dynamique temporelle des écosystèmes (Serpantié & Devineau, 1991). Ce processus écologique dépend des capacités indi-viduelles de reproduction des espèces et concerne la dynamique de leurs populations. Le suivi dans le temps de cette dynamique nécessite des outils pertinents pouvant révéler les différents stades de cette succession écologique. Dans cette étude, nous partons de l'hypothèse que les traits biologiques subissent le long de l'échelle temporelle de la succession écologique des changements indicateurs des différents stades de l'évolution.



Nous modélisons les différents stades de la recolonisation post culturale à travers l'évolution dans le temps des paramètres floristiques entre autres les types biologiques, les types phytogéographiques, les types foliaires et les types des diaspores.

L'objectif final est d'identifier les chances de reconstitution de la végétation initiale qui occupait les jachères limitrophes de la réserve naturelle récemment mises en défens pour des soucis de restauration écosystémique.

2. MILIEU D'ETUDE

Cette étude a été réalisée dans les jachères situées dans le périmètre de la Réserve Naturelle Forestière de Bururi (Fig.1). Cette forêt afromontagnarde constitue la partie la plus méridionale de la chaîne de forêts de la crête Congo-Nil. Sa superficie est de 3300 ha dont 2300 ha de forêt naturelle et 1000 ha de plantation artificielle. Ses limites géographiques sont entre 3° 55' et 3° 59' de latitude Sud et entre 29° 35' et 29° 38' de longitude Est. A 1700 m d'altitude, cette réserve jouit d'un climat tropical humide à 3 mois de saison sèche avec une température moyenne annuelle de 17 °C et 1500 mm des précipitations moyennes annuelles. (Statistiques de l'Institut Géographique du Burundi, 1997-2006) (Fig.2). Les sols de cette région occupée par la forêt

ombrophile sont constitués de ferrisols argileux et de ferrallsols humifères argileux.

On peut distinguer dans cette forêt quatre horizons en tenant compte de la stratification altitudinale (Lewalle, 1972): l'horizon inférieur compris entre 1600 m et 1900 m d'altitude avec des arbres atteignant environ 25 m de haut notamment *Anthonotha pynaertii*, *Albizia gummifera*, *Parinari excelsa*, *Prunus africana* et *Syzygium guineense*; l'horizon moyen est compris entre 1900 et 2250 m d'altitude avec des arbres géants tels que *Entandrophragma excelsum*, *Prunus africana* et *Parinari excelsa* subsp. *holstii* atteignant 30 et parfois 40 m de haut; l'horizon supérieur compris entre 2250 et 2450 m d'altitude présentant une forêt distincte des deux types précédents avec des cimes s'arrêtant généralement à 15 m, à l'exception de quelques individus de *Podocarpus milanjanus* atteignant 20 m et au-delà de 2450 m, on rencontre des formations végétales du type afro-subalpin constituées des fruticées sclérophylles où la famille des Ericaceae (*Phillipia*, *Erica* et *Vaccinium*) est la plus représentée et des formations graminéennes très étendues sur les sommets et dans les zones très dégradées (*Exothea abyssinica*, *Microchloa kunthii*, *Monocymbium ceresiiforme* et *Loudetia simplex*).

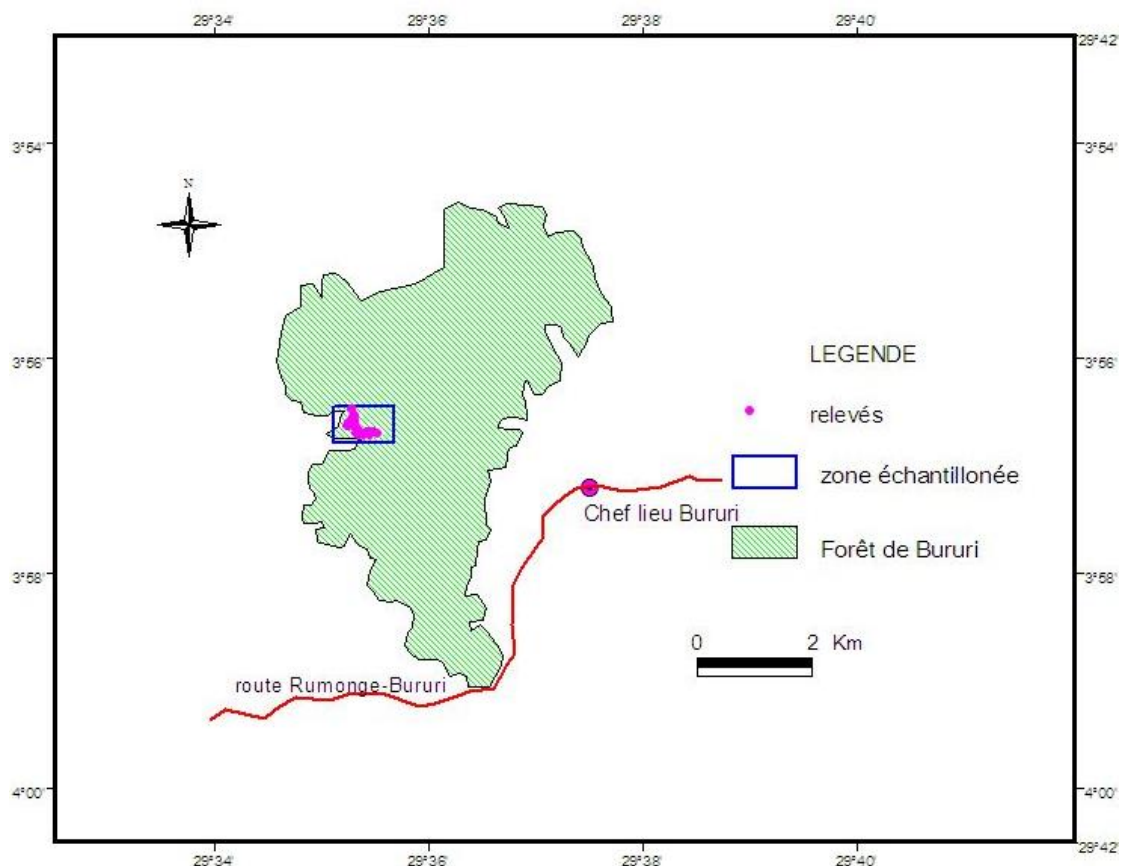


Fig.1: Localisation de la zone échantillonnée dans la réserve naturelle forestière de Bururi

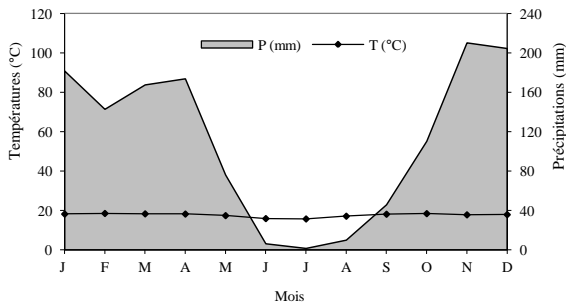


Fig. 2: Diagramme ombrothermique de la région de la réserve naturelle forestière de Bururi (Burundi) (Source: Statistiques de l'Institut Géographique du Burundi, 1997-2006).

3. METHODOLOGIE

Nous exploitons dans cette étude la voie, déjà explorée par d'autres phytosociologues (Gallandat *et al.*, 1995), qui consiste à utiliser comme unités fonctionnelles les homécies (catégories de synusies de physionomie comparable et occupant la même fonction écologique dans différentes phytocénoses). Les homécies sont ainsi, des compartiments homogènes des phytocénoses vis-à-vis des formes biologiques, des types morphologiques végétatifs et des stratégies adaptatives.

Pour la collecte des données phytosociologiques, 30 relevés ont été réalisés dans les jachères d'âges échelonnés (0-2 ans, 3-5 ans et plus de 5 ans) selon la méthode sigmatiste de Braun-Blanquet (1932) en tenant compte de l'homogénéité de la station au point de vue floristique. L'individualisation des groupements a été obtenue grâce aux logiciels TWINSpan ((TWO-way INDicator SPECies ANALYSIS) et MVSP (Multi-Variate Statistical Package) proposés respectivement par Hill (1994) et Kovach (1997).

Pour aborder l'aspect consacré des paramètres floristiques comme indicateurs du stade de la succession post culturale, nous avons calculé les différents spectres avant d'analyser leur évolution suivant l'âge de la jachère. Les paramètres analysés sont:

- Les types biologiques liés à l'état phénologique de l'espèce rencontrée. Nous avons utilisé le système

de Raunkiaer (1934) modifié par le Lebrun (1947) : phanérophytes, chaméphytes, hémicryptophytes, thérophytes et géophytes ;

- Les types phytogéographiques admis pour l'Afrique (White, 1979 & 1983) : espèces à large distribution sur le globe terrestre (cosmopolites, pantropicales, paléotropicales, afroaméricaines), espèces à large distribution africaine (afromalgaches, afrotropicales et plurirégionales africaines) et les espèces à distribution régionale (soudano-zambéziennes, guinéo-congolaises et afromontagnardes);
- Les types de diaspores comme définis par la classification de Dansereau et Lems (1957): zoochores (desmochores et sarcochores), anémochores (sclérochores, ptérochores et pogonochores), autochores (barochores, ballochores) et hydrochores (pléochores);
- Les types foliaires issus de la classification de Raunkiaer (1934): aphylls, leptophylls, nanophylls, microphylls, mésophylls, macrophylls et mégaphylls.

4. RESULTATS

4.1. Groupements individualisés

A partir des 30 relevés phytosociologiques réalisés, dans les jachères de la Réserve Naturelle Forestière de Bururi (Burundi), nous avons inventorié 194 espèces végétales réparties en 148 genres, 30 ordres et 66 familles. Quatre groupements ont été individualisés :

- groupement (G₁) à *Cyathea manniana* (R.M : 13,93%) et *Kotschyia africana* (RM : 13,28%) ;
- groupement (G₂) à *Virectaria major* (RM : 21, 13%) et *Pteridium aquilinum* (RM : 18,45%) dans les jachères de plus de 5 ans ;
- groupement (G₃) à *Lobelia gibberroa* (RM : 33,59%) et *Pteridium aquilinum* (R.M : 15,90%) dans les jachères de plus de 3-5 ans avec deux faciès dont le premier (G_{4L}) est dominé par *Lobelia gibberroa* et le deuxième (G_{4P}) par *Pteridium aquilinum* ;
- groupement (G₄) à *Digitaria abyssinica* (RM : 35,49%) et *Bothriocline longipes* (RM : 29,19%) dans les jachères de moins de 2 ans (Fig. 3).

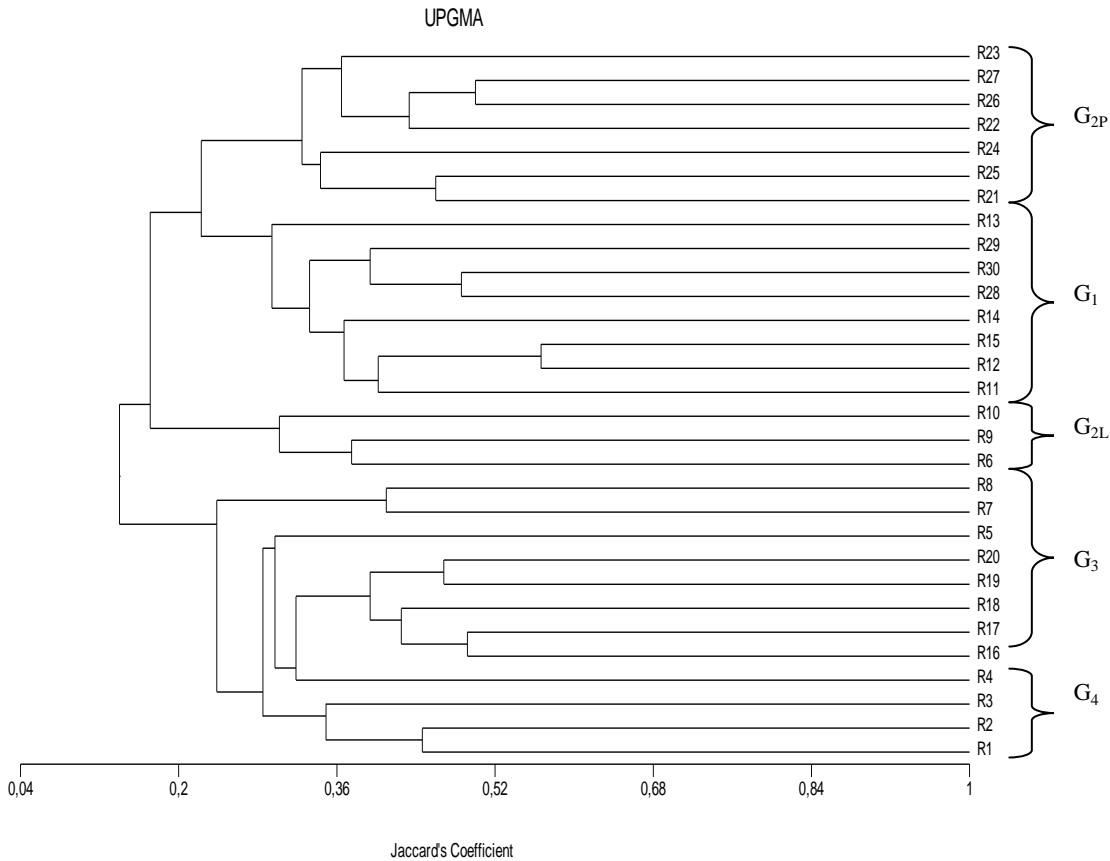


Fig. 3: Disposition des 4 groupements individualisés dans les jachères de Bururi sur un dendrogramme : G₁ : groupement à *Digitaria abyssinica* et *Bothriocline longipes*, G₂ : groupement à *Lobelia gibberoa* et *Pteridium aquilinum* avec deux faciès dont le premier (G_{2L}) est dominé par *Lobelia gibberoa*, G₂ : groupement à *Virectaria major* et *Pteridium aquilinum* et le deuxième (G_{2P}) par *Pteridium aquilinum* et G₄ : groupement *Cyathea manniana* et *Kotschyia africana*

4.2. Types biologiques comme indicateurs du stade de la succession post culturale

Les courbes d'évolution des types biologiques en fonction de l'âge de la jachère (Fig. 4) montrent que le groupement de jeunes jachères (G₁) a un pourcentage

élevé des thérophytes avec 25% par rapport aux autres groupements. Cette proportion des thérophytes diminue considérablement dans les jachères (G₄) de plus de 5 ans et est de 8,9 %. Le pourcentage des phanérophytes suit une évolution contraire; bas dans les jeunes jachères (29,7 %) et élevé (43,5 %) dans le groupement G₄ des jachères plus âgées (plus de 5 ans).

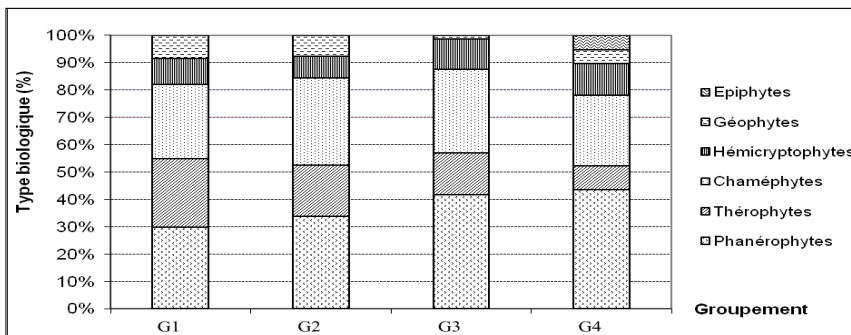


Fig. 4: Evolution des types biologiques en fonction de l'âge des groupements des jachères de Bururi (G₁ : groupement à *Digitaria abyssinica* et *Bothriocline longipes*, G₂ : groupement à *Lobelia gilberroa* et *Pteridium aquilinum* avec deux faciès dont le premier (G_{2L}) est dominé par *Lobelia gibberoa*, G₂ : groupement à *Virectaria major* et *Pteridium aquilinum* et le deuxième (G_{2P}) par *Pteridium aquilinum* et G₄ : groupement à *Cyathea manniana* et *Kotschyia africana*

4.3. Types phytogéographiques comme indicateurs du stade de la succession post culturale

La distribution des types phytogéographiques dans les différentes étapes de régénération forestière dans les jachères de la partie savane de la réserve naturelle forestière de Bururi (Fig. 5) montre une diminution progressive d'espèces à large distribution selon l'âge de la jachère depuis les groupements les plus jeunes jusqu'aux groupements des jachères plus âgées.

En effet, les espèces à large distribution au niveau du globe représentent respectivement 40,3 % dans le groupement de jeunes jachères (G₁) alors que ce pourcentage n'est que 23,9 % dans le groupement des jachères âgées (G₄).

D'autre part, les espèces à distribution régionale augmentent depuis les jeunes jachères jusqu'aux groupements les plus évolués des jachères âgées. Ainsi, ces espèces occupent respectivement 29,3 % dans le groupement de jeunes jachères (G₁) pour augmenter jusqu'à 40,0 % dans le groupement des jachères âgées (G₄).

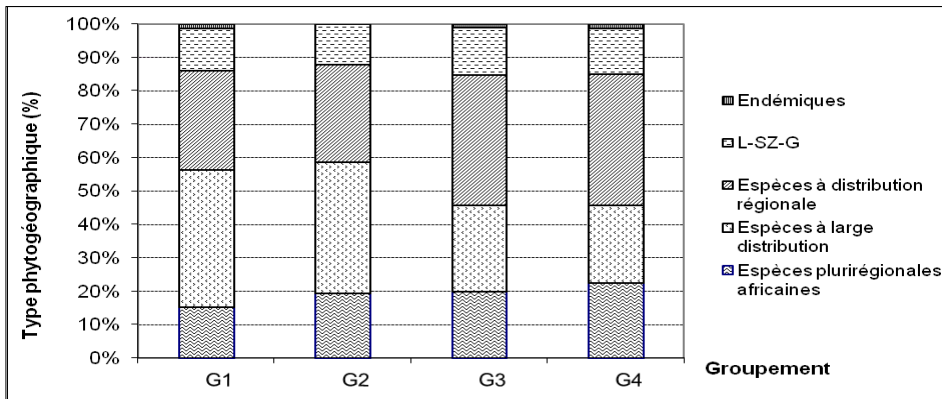


Fig. 5: Evolution des types phytogéographiques en fonction de l'âge des groupements des jachères de Bururi (G₁: groupement à *Digitaria abyssinica* et *Bothriocline longipes*, G₂: groupement à *Lobelia gibberroa* et *Pteridium aquilinum* avec deux faciès dont le premier (G_{2L}) est dominé par *Lobelia gibberroa*, G₂: groupement à *Virectaria major* et *Pteridium aquilinum* et le deuxième (G_{2P}) par *Pteridium aquilinum* et G₄: groupement à *Cyathea manniana* et *Kotschya africana*)

4.4. Types foliaires comme indicateurs du stade de la succession post culturale

Les différents types foliaires se répartissent différemment dans les différents groupements des jachères d'âge différent (Fig. 6). Une augmentation progressive avec l'âge de la jachère des espèces

mésophylles a été observée. Leur pourcentage est de 27,5 % dans les jeunes jachères contre 38,3 % dans les jachères âgées. Il apparaît également que les espèces microphylles et nanophylles régressent avec l'âge de la jachère respectivement 58,6 % et 4,6 dans les jeunes jachères contre 50,5 % et 1,8 dans les jachères plus âgées.

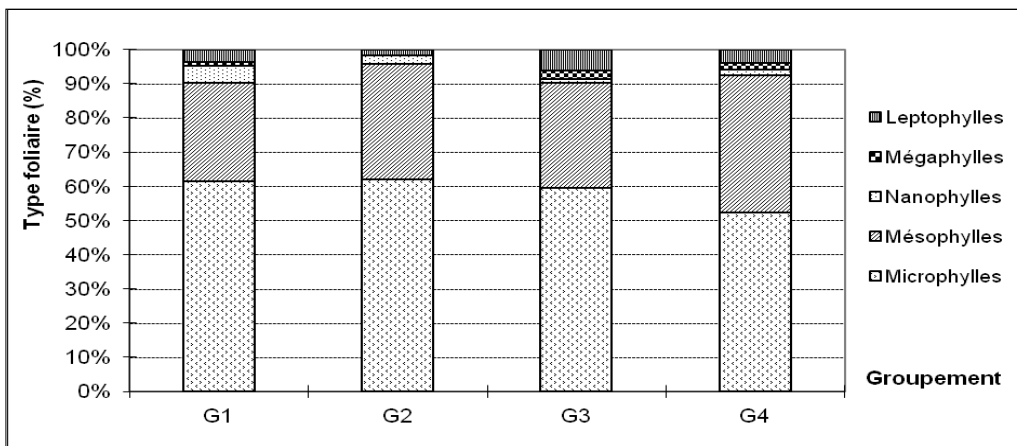


Fig. 6: Evolution des types foliaires en fonction de l'âge des groupements des jachères de Bururi (G₁: groupement à *Digitaria abyssinica* et *Bothriocline longipes*, G₂: groupement à *Lobelia gibberroa* et *Pteridium aquilinum* avec deux faciès dont le premier (G_{2L}) est dominé par *Lobelia gibberroa*, G₂: groupement à *Virectaria major* et *Pteridium aquilinum* et le deuxième (G_{2P}) par *Pteridium aquilinum* et G₄: groupement à *Cyathea manniana* et *Kotschya africana*)

4.5. Types de diaspores comme indicateurs du stade de la succession post culturale

Les courbes d'évolution du pourcentage des espèces possédant les différents types de diaspores dans les jachères de différents âges (Fig. 7) montrent une évolution régressive des espèces à diaspores

sclérochores le long du gradient âge de la jachère. Ce type de diaspores représente 29,1 % dans les jeunes jachères contre 22,6 % dans les vieilles jachères. Une évolution contraire est observée chez les types de diaspores sarcochores ; 29,1 % dans les jeunes jachères contre 34,4 % dans les jachères plus âgées.

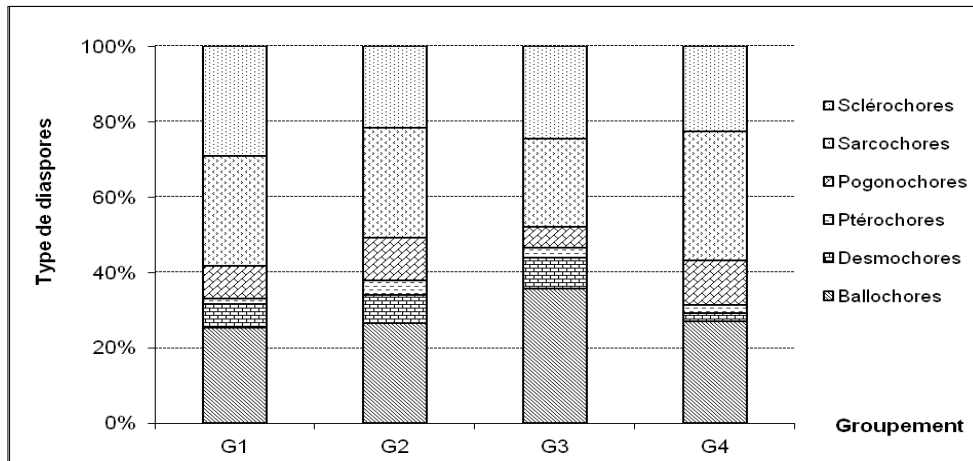


Fig. 7: Evolution des types de diaspores en fonction de l'âge des groupements des jachères de Bururi : G₁: groupement à *Digitaria abyssinica* et *Bothriocline longipes*, G₂: groupement à *Lobelia gibberroa* et *Pteridium aquilinum* avec deux faciès dont le premier (G₂₁) est dominé par *Lobelia gilberoa*, G₂: groupement à *Virectaria major* et *Pteridium aquilinum* et le deuxième (G_{2p}) par *Pteridium aquilinum* et G₄: groupement à *Cyathea manniana* et *Kotschyia africana*

5. DISCUSSIONS

5.1. Evolution des traits biologiques

L'analyse des proportions des types biologiques entre les différents groupements montre une diminution des thérophytes et une augmentation conséquente des phanérophytes au fur et à mesure que l'âge de la jachère augmente. Au cours de la régénération naturelle, la végétation herbacée pionnière est progressivement remplacée par les rejets des souches et la croissance des plantules des arbres qui vont créer une strate arbustive. L'installation de cette strate arbustive explique la diminution des thérophytes qui sont pour la plupart des espèces héliophiles.

Des résultats similaires ont été obtenus par d'autres auteurs. En étudiant les changements dans la répartition des types biologiques en fonction d'un gradient dynamique de colonisation des anciennes terrasses de culture en Provence calcaire, Taton & Roche (1994) ont conclu que les thérophytes connaissent une diminution rapide alors que les phanérophytes augmentent continuellement avec l'installation d'espèces ligneuses dès que les pratiques agricoles (en particulier le labour) cessent.

Aux Etats-Unis et en Europe, beaucoup d'études (Lavorel *et al.*, 1993 ; Mac Cook, 1994 ; Debussche *et al.*, 1996 ; Smit, 1996), portant sur les successions secondaires post-culturelles, ont mis en évidence la modification de la répartition des espèces en types

biologiques au fur et à mesure de la succession: explosion temporaire de thérophytes, apparition et dominance des hémicryptophytes et montée lente (sur 20 à 50 ans) des phanérophytes.

Quant aux types phytogéographiques, de tous les groupements individualisés dans les jachères de la Réserve Naturelle Forestière de Bururi, il y a prédominance des espèces à large distribution. En effet, les jachères constituent des milieux largement perturbés et dont les influences externes sont intenses, il n'est donc pas étonnant que les espèces allochtones soient en proportions élevées.

Cependant, il y a une diminution progressive des espèces à large distribution selon l'âge des jachères depuis les groupements les plus jeunes jusqu'au groupement des jachères plus âgées. De plus, les espèces à distribution régionale augmentent depuis les jeunes jachères jusqu'aux groupements les plus évolués des jachères âgées. Ainsi, au cours du temps, les espèces opportunistes diminuent progressivement et s'épanouissent conséquemment les espèces caractéristiques de la région au fur et à mesure que la perturbation du milieu régresse.

L'évolution des types foliaires montre une augmentation progressive avec l'âge de la jachère des espèces mésophylles et une diminution d'espèces microphylles et nanophylles. En effet, les jeunes jachères sont dominées par les espèces héliophiles et sont caractérisées par des formations monostatiées.

Au fur et à mesure qu'apparaissent les phanérophytes, il se forme une strate arbustive favorisant ainsi l'épanouissement d'espèces sciaphiles généralement à feuille de grande taille (mésophylles).

Tilman (1986) expliquent cette situation par la disponibilité des ressources telle la lumière « ressource ratio hypothesis ». En effet, l'installation d'une strate arbustive crée une sorte de parasolerie, limitant ainsi la quantité de lumière arrivant au niveau de la strate inférieure. L'hypothèse de compétition pour atteindre l'optimum des facteurs écologiques limitants, dont la lumière, devient donc déterminante quant à l'espèce dominante dans un habitat donné.

Les espèces à dissémination anémochore régressent avec l'âge des jachères. Dans les vieilles forêts secondaires, le mode de dissémination le plus fréquent est la zoochorie. Koubouana *et al* (2007) ont abouti aux conclusions similaires lors d'une étude de l'évolution des paramètres floristiques pendant la régénération des forêts de la réserve de la Lefini (Congo brazzaville). Les espèces à diaspores sclérochores connaissent une évolution régressive et finissent par disparaître dans les vieilles jachères. Elles constituent le stock d'espèces pionnières qui préparent les conditions de germination des espèces à diaspores sarcochores avant de disparaître.

Smit (1996) admet que les espèces ligneuses ne sont pas dans la banque du sol et dépendent donc de l'arrivée de leurs graines dans le milieu (par dispersion par le vent ou les animaux) alors que les espèces herbacées des champs cultivés (arable weeds) forment la majorité de la banque du sol et sont donc capables de coloniser rapidement les milieux abandonnés.

Abordant dans le même sens, Jauzein (2001) dit qu'à l'échelle de la parcelle, la persistance du stock semencier des thérophytes (plantes annuelles) et la survie d'organes de multiplication végétative des géophytes permettent le renouvellement endémique de la plupart des espèces: stock endogène. Il faut y ajouter un contingent d'espèces allochtones, le plus souvent anémochores ou quelquefois zoochores, dont les diaspores pénètrent en permanence sur le site par introduction naturelle (apophytes) ou par l'homme. Si elles appartiennent à des espèces préadaptées, elles pourront enrichir la banque déjà présente; sinon, elles donneront naissance à des jeunes plants éliminés par la première perturbation.

5.2. Concept de la dynamique post-culturelle et stratégies adaptatives

Le déroulement de la dynamique post-culturelle repose sur l'instauration d'une hiérarchie des végétaux en fonction de leurs capacités d'exploitation des ressources abiotiques. Les changements de végétation durant la succession secondaire sont dus principalement aux interactions biotiques i.e. les capacités des plantes à modifier leur environnement

pour l'installation d'autres espèces (facilitation), des interactions compétitives et la tolérance d'une espèce à la présence des autres (Huston & Smith, 1987; Pickett *et al.*, 1987; Callaway & Walker, 1997; Wilson, 1999).

Les modèles proposés par MacArthur & Wilson (1967) et Grime (1977) expliquent cette dynamique postculturelle. Les premiers auteurs opposent des organismes soumis à une sélection de type *r* à ceux soumis à une sélection de type *K*, la sélection de type *r* étant rencontrée chez des espèces qui peuvent occuper des milieux perturbés et la sélection de type *K* chez les individus qui persistent dans un milieu donné pour de longues périodes. Dans cette étude, les thérophytes seraient des stratèges de type *R* et les phanérophytes de type *K*. Le second auteur propose une classification des végétaux selon leur adaptation à des niveaux de perturbation et de stress, le stress étant considéré comme un manque de ressources (lumière, eau, nutriments, température).

Nos résultats corroborent aussi les conclusions de Grime (1979). En effet, en début de succession se trouvent des espèces thérophytes dont les traits sont associés à la stratégie « rudérale tolérante au stress », c'est-à-dire des espèces avec une croissance rapide, une dispersion efficace et un fort investissement dans la reproduction. En revanche, les espèces de fin de succession sont de type phanérophytes développant des traits associés à la stratégie « compétitrice tolérante au stress », avec une vitesse de croissance lente, une utilisation des ressources efficace et un faible investissement dans la reproduction.

Un modèle d'allocation des ressources dans les principaux organes de la plante (racines, feuilles, tiges et graines) explique également la forme de croissance et donc l'aptitude compétitive des espèces (Tilman, 1990). Selon ce modèle, les espèces dominantes de début de succession auront une forte allocation aux feuilles et aux racines (observée chez les thérophytes) et seront remplacées par des espèces à forte allocation aux tiges (phanérophytes).

Ainsi, la succession est le résultat d'une dynamique au cours de laquelle les espèces de début de succession, ayant un fort pouvoir colonisateur et/ou une croissance rapide, sont remplacées progressivement par des espèces qui ont une forte biomasse racinaire et/ou une concentration en azote des tissus faible, signe d'une plus grande compétitivité (Gleason & Tilman, 1990).

En définitive, les espèces se placent sur un continuum de gestion des ressources en fonction de leurs traits et de leurs habitats d'origine. Du côté des jeunes jachères, on trouve 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 à court terme élevée et donc un renouvellement rapide des tissus.

A l'opposé, chez les vieilles jachères, se trouvent les espèces présentant un renouvellement des tissus moins rapide et des traits qui améliorent la conservation des nutriments (Grime, 1977; Chapin, 1980; Poorter, 1990; Poorter & Garnier, 1999).

BIBLIOGRAPHIE

- Braun-Blanquet, J., (1932) - *Plant sociology. The study of plant communities*. Ed. Mac Gray Hill, New York, London, 439 p.
- Callaway R.M. & L.R. Walker, (1997) - Competition and facilitation: A synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*, 78, 1958-1965.
- Chapin F.S., (1980) - The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 11, 233-260.
- Dansereau P. & K. Lems, (1957) - The grading of dispersal types in plant communities. *Contributions de l'Institut de Botanique de Montreal*, 71, 1-52.
- Debussche M., J. Escre, J. Lepart, C. Houssard & S. Lavorel, (1996) - Changes in mediterranean plant succession : old-fields revisited. *Journal of Vegetation Science*, 7, 519-526.
- Gallandat J.D., F. Gillet, E. Havlicek & A. Perrenoud, (1995) - *Patubois, typologie et systématique phytocologique des pâturages boisés du Jura Suisse*. Lab. Ecol. Vég., Univ. de Neuchâtel, Volume 1. 466 p.
- Gleason S.K. & D. Tilman, (1990) - Allocation and the transient dynamics of succession on poor soils. *Ecology*, 71, 1144-1155.
- Grime J.P., (1977) - Evidence for existence of 3 primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *The American Naturalist*, 111, 1169-1194.
- Grime J.P., (1979) - *Plant strategies and vegetation processes*. John Wiley and Sons, New York, 222 p.
- Hill M.O., (1994) - *DECORA and TWINSpan, for ordination and classification of multivariate species data: a new edition, together with supporting programs*. In *FORTSPAN 77. TABLEFIT programs* (ed.), Huntington, England. 58 p.
- Huston M. & T. Smith, (1987) - Plant succession - Life-history and competition. *The American Naturalist*, 130, 168-198.
- Jauzein P., (2001)- *Biodiversité des champs cultivés : l'enrichissement floristique*. In *Agriculture et biodiversité des plantes*. INRA (ed.), Dossier de l'environnement 21, 43-64.
- Koubouana F., A. Ngoliele & G. Nsongola, (2007) - Evolution des paramètres floristiques pendant la régénération des forêts de la réserve de la Lefini (Congo brazzaville). *Annales de l'Université Marien NGOUABI*, 8 (4), 10-21.
- Kovach W.L., (1997)- *MVSP: MultiVariate Statistical Package data analysis*. Kovach Computing Services, 85 Nant-y-Felin, Pentraeth, Anglesey.
- Lavorel S., M. Debussche, J.D. Lebreton & J. Lepart, (1993) - Seasonal patterns in the seed bank of Mediterranean old-fields. *Oikos*, 67, 114-128.
- Lebrun J., (1947) - *La végétation de la plaine alluviale au Sud du lac Edouard*. Inst. Parcs Nat. Congo belge, Exp. Parcs Nat. Albert, Mission Lebrun (1937-1938) 1, 800 p.
- Lewalle J., (1972) - Les étages de végétation du Burundi occidental. *Bulletin du Jardin Botanique National de Belgique* 42(1/2): 1-247.
- Mac Cook L.J., (1994) - Understanding ecological community succession : causal models and theories, a review, *Vegetatio*, 110, 115-147.
- MacArthur R.H. & E.O. Wilson, (1967) - *The theory of island biogeography*. Princeton University Press, Princeton.
- Pickett S.T.A., S.L. Collins & J.J. Armesto, (1987) - Models, mechanisms and pathways of succession. *Botanical Review*, 53, 335-371.
- Poorter H. & E. Garnier, (1999) - *The ecological significance of variation in relative growth rate and its components*. In: *Handbook of Functional Plant Ecology*. Marcel Dekker, New York, 81-120.
- Poorter H., (1990)- *Interspecific variation in relative growth rate; on ecological causes and physiological consequences*. In: *Causes and consequences of variation in growth rate and productivity in higher plants*. H. Lambers, M.L. Cambridge, H. Konings & T.L. Pons (eds.), SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands, 45-68.
- Raunkiaer C., (1934)- *The life's forms of plants and statistical plant geography*. Oxford University Press, London, 632 p.
- Serpantié G. & J. L. Devineau, (1991) - Le programme "interrelations systèmes écologiques-systèmes de culture en zone soudanienne (ouest-burkinabé)" : projet scientifique. In: Floret C. & G. Serpantié (éds.), *La jachère en Afrique de l'Ouest*. Colloques et Séminaires. ORSTOM, 481-490
- Smit R., (1996) - The colonization of woody species in old fields, old field succession in the Netherlands. Agricultural University, Wageningen department of terrestrial ecology and nature, 46 p.

Tatoni T. & P. Roche, (1994) - Comparison of old-field and forest revegetation dynamics in Provence. *Journal of Vegetation Science*, **5**, 295-302.

Tilman D., (1986) - Nitrogen-limited growth in plants from different successional stages. *Ecology* **67**, 555-563.

Tilman D., (1990) - Constraints and tradeoffs - Toward a predictive theory of competition and succession. *Oikos*, **58**, 3-15.

White F., (1979) - The guineo-congolian region and its relationships to other phytochoria. *Bull. Jard. Bot. Nat. Belg.*, **49**, 11-55.

White F., (1983) - The vegetation map of Africa. A descriptive memoir. UNESCO, *Natural Resources Research*, **20**, 1-356.

Wilson J.B., (1999) - Guilds, functional types and ecological groups. *Oikos*, **86**, 507-522.



Application d'un modèle simple de la digestion anaérobie incluant la sulfato-réduction au lagunage anaérobie

Harerimana Casimir¹, Chéma Keffala², Nineza Claire¹,
Ndikumana Théophile³, Jean- Luc Vassel²

¹Université du Burundi. Institut de Pédagogie Appliquée, B.P 5223 Bujumbura, Burundi ; harecasimir@yahoo.fr

²Université de Liège. Département des Sciences et Gestion de l'Environnement. Unité "Assainissement et Environnement" Avenue de Longwy, 185. B-6700 Arlon, Belgique

³Université du Burundi, Faculté des Sciences, B.P 2700 Bujumbura-Burundi

Reçu: le 20 Novembre 2013

Accepté: le 25 Novembre 2013

Publié: le 30 Novembre 2013

RESUME

Mots clés: Modélisation, simulation, bactéries du soufre, WEST ®

Les dysfonctionnements occasionnés par les bactéries du soufre sont souvent un facteur limitant l'expansion du lagunage anaérobie dans le monde. La production des odeurs résulte du processus de réduction des sulfates par les bactéries sulfato-réductrices qui produisent les sulfures. Pour pouvoir maîtriser la production des odeurs dans les bassins anaérobies, il faut passer nécessairement par la modélisation. Le but de ce travail était d'intégrer le modèle de la digestion anaérobie incluant la sulfato-réduction dans le logiciel de simulation des stations d'épuration WEST® pour simuler la production des sulfures et la consommation des sulfates en lagunage anaérobie. Les données d'entrée utilisées pour les simulations sont celles des bassins anaérobies de la station d'épuration de Mèze en France.

Les rendements simulé et expérimental de la sulfato-réduction sont respectivement 67% et 65%. Les résultats obtenus par le logiciel WEST® prouvent qu'il est possible de prévoir la réduction des sulfates et la production des sulfures dans les bassins anaérobies. Le modèle est structurellement valide, puisque la structure du modèle représente avec une exactitude raisonnable la relation de cause à effet du système réel. Le modèle présente également une validité prédictive puisque les prédictions du comportement du système sont raisonnablement conformes à l'observation du système réel.

ABSTRACT

Key words: Modeling, simulation, sulfur bacteria, WEST ®

The dysfunctions caused by sulfur bacteria are often a factor limiting the expansion of anaerobic ponds in the world. The production of odors resulting process of sulfate reduction by sulfate-reducing bacteria that produce sulfides. To control the production of odors in anaerobic ponds, it is necessary to go through modeling. The aim of this study was to integrate the model of anaerobic digestion including sulfate reduction in the treatment plants simulation software WEST® to simulate the production of sulphides and sulphates consumption anaerobic Ponds . The input data used for the simulations are those of anaerobic ponds of the wastewater treatment plant in France Meze. The simulated and experimental yields of the sulfate reduction are 67% and 65% respectively. The results obtained by the software WEST® prove that it is possible to predict the reduction of sulfate and sulfide production in anaerobic ponds . The model is structurally valid, since the model structure represents with reasonable accuracy, the cause and effect of the real system. The model also has predictive validity as predictions of system behavior are reasonably consistent with the observation of the real system.

1. INTRODUCTION

Avec le développement de l'urbanisation et de l'industrialisation, le volume des eaux usées domestiques, des effluents industriels, des déchets agricoles et des eaux de ruissellement urbaines ne cesse

d'augmenter. Toutes ces eaux polluées doivent être assimilées par le milieu sans nuire à la santé et au bien être de l'homme. Aussi est il nécessaire de soutenir les processus naturels d'épuration par la mise en place de stations de traitement biologique des eaux usées.



Parmi les différents procédés de traitement utilisés, le lagunage constitue une méthode efficace de traitement et d'évacuation des eaux usées pour les collectivités en pleine croissance où les ressources financières sont limitées et le personnel qualifié peu nombreux.

L'inconvénient principal du lagunage est la production des odeurs souvent associées à la présence de H₂S généré par le processus de la sulfato-réduction. Une eau chargée en sulfate favorise le développement des bactéries sulfato-réductrices lorsque ces dernières sont dans un milieu appauvri en oxygène et dont le potentiel d'oxydoréduction se situe entre -100 et -300 mV ; elles catabolisent les sulfates en libérant les sulfures.

Parmi les composés soufrés, le sulfure d'hydrogène (H₂S), très nocif, est le plus répandu ; ses effets sur la santé peuvent être mortels à des doses supérieures à 500 ppm (Lens *et al.*, 2000). A cela s'ajoutent des effets sur l'environnement tels que la forte corrosion des ouvrages (Rinzema, 1988), des surconsommations de coagulants pour les procédés d'épuration chimique et la toxicité pour les autres bactéries épuratrices (Koster *et al.*, 1986 ; Widdel, 1988; Kalyuzhnyi, 1998).

Les recherches effectuées jusqu'à ce jour sur l'activité des bactéries sulfato-réductrices et sulfo-oxydantes sont très récentes et peu nombreuses et ont conduit à des résultats quelques fois contradictoires (Moosa *et al.*, 2002 ; Visser, 1995 ; Ingvorsen *et al.*, 1984).

Le manque de connaissances et d'analyses sur l'activité des bactéries sulfato-réductrices et sulfo-oxydantes en lagunage a pour conséquence l'absence de données quantitatives sur le cycle du soufre et le problème des odeurs dans les lagunes. Partant du principe que nous désirons pouvoir maîtriser la production ainsi que la réduction des odeurs en lagunage, nous devons nous donner les moyens de les connaître et de les quantifier. La connaissance passe nécessairement par la construction d'un modèle. Un modèle simple de la digestion anaérobie incluant la sulfato-réduction et la sulfo-oxydation a été développé par Harerimana (2012) sur base de la stœchiométrie et de la cinétique de principales réactions métaboliques impliquées dans le processus.

Le but de cette étude est d'appliquer ce modèle au lagunage anaérobie afin de pouvoir prédire la consommation des sulfates par les bactéries sulfato-réductrices, la production des sulfures et par conséquent la production d'odeurs.

Pour cela, il est prévu de l'intégrer dans un logiciel de simulation des stations d'épuration appelé WEST (Worldwide Engine for Simulation, Training and automation) et de faire des simulations en fournissant les entrées de commande.

Les objectifs poursuivis dans ces simulations sont de calculer les rendements de la sulfato-réduction à l'état stationnaire, et d'estimer la production des sulfures dans le système.

2. METHODOLOGIE

2.1. Présentation du logiciel de simulation des stations d'épuration (WEST)

Les simulations ont été réalisées avec un logiciel appelé WEST[®] (Worldwide Engine for Simulation, Training and automation). Les modèles standards de boues activées (Activated Sludge Model no 1,2, 3) pour la modélisation de la station d'épuration et le modèle de qualité pour la rivière (River Water Quality Model no. 1), sont intégrés dans ce logiciel, WEST[®]. Mais les modèles de digestion anaérobie (Anaerobic Digestion Model 1 et autres) ne sont pas intégrés. Néanmoins, WEST[®] donne la possibilité d'ajouter ou de modifier des modèles en cas de besoin, grâce à une interface ouverte à l'utilisateur et à la structure hiérarchique du langage de programmation.

A cette occasion une nouvelle matrice de Petersen du modèle de la digestion anaérobie incluant la sulfato-réduction a été incorporée dans WEST[®] car ce modèle n'était pas repris dans le répertoire de ce logiciel.

2.2. Configuration du modèle

La figure 1 montre la configuration qui a été mise en place pour les simulations dans WEST. (IN) est l'entrée de notre système, suivi d'un convertisseur C/F (les concentrations et les débits sont transformés en flux pour les besoins du modèle), ensuite le bassin anaérobie (ASU_1) et enfin, nous avons un convertisseur, cette fois F/C qui nous transforme les flux en concentrations pour les valeurs à la sortie du système (OUT). Le bassin anaérobie « ASU_1 » tel que montré globalement dans la figure 1 de la configuration du modèle est décrit comme étant composé de trois compartiments anaérobies.

Un compartiment supérieur appelé « phase liquide » où la décantation des matières en suspension a lieu, ces matières en suspensions sont directement accumulées dans le compartiment accumulation des sédiments (qui représente le fond du bassin) dans lequel aucune réaction n'a lieu, il s'agit simplement d'une diminution du volume liquide. Ce compartiment est suivi d'un compartiment intermédiaire nommé « zone réactionnelle » qui lui échange des composés solubles avec la phase liquide. Il impose des concentrations connues maximales en microorganismes. Toute la biomasse produite (de telle manière à ce que la biomasse de cette couche reste constante) est dirigée sous forme de flux (représenté par la flèche bleue sur la figure 1 vers le compartiment « zone d'accumulation de sédiments » et ne participe plus aux réactions. La fonction de décantation appliquée dans la phase liquide est celle de Tay (1982).

Les processus biologiques qui interviennent dans ces trois compartiments sont ceux décrits dans les matrices de Petersen du modèle développé par Harerimana (2012). Le flux d'échange entre le compartiment liquide et la zone réactionnelle est représenté par un débit constant « q » comme indiqué

sur la figure avec une valeur de $162 \text{ m}^3/\text{j}$, ce débit n'est pas corrélé avec le débit d'entrée et reste élevé afin de permettre un brassage suffisant. Le débit à l'entrée et à la sortie du bassin anaérobie est donné par « Q » avec une valeur constante de $1040 \text{ m}^3/\text{j}$.

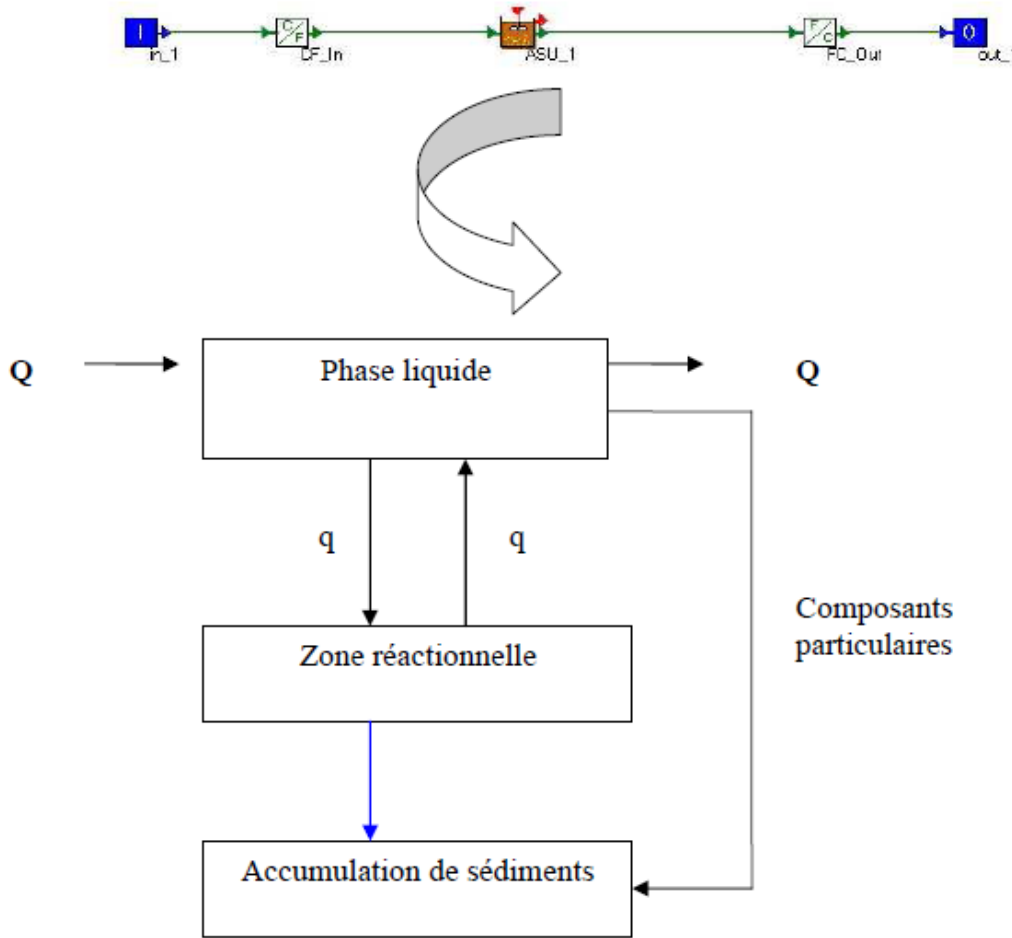


Fig. 1: Configuration du système selon WEST® (avec en dessous la représentation du bassin « ASU_1 »)

2.3. Système expérimental considéré

Les données utilisées pour faire fonctionner le modèle sont celles de la station de Mèze, en France. Paing (2001) a travaillé sur deux bassins anaérobies de la station d'épuration d'eaux usées de l'Ecosite de Mèze en France qui présentait des problèmes d'odeurs.

L'étude de ces lagunes anaérobies a été réalisée sur deux années consécutives. Le tableau 1 montre les caractéristiques géométriques d'un bassin anaérobie et le tableau 2 contient les caractéristiques moyennes de l'effluent brut entrant et de l'effluent sortant de ce bassin, alimenté en faible charge, sans traitement d'odeurs.

Les objectifs poursuivis dans nos simulations sont :

- Calculer les rendements de la sulfato-réduction à l'état stationnaire,
- Voir la production des sulfures dans le système.

Tableau 1: Caractéristiques géométriques bassin anaérobie utilisé dans modèle (Paing, 2001)

Surface (m ²)	2300
Profondeur (m)	3,1
Volume (m ³)	4960
Temps de séjour (j)	4,6
Débit (m ³ /j)	1040

Tableau 2: Caractéristiques moyennes de l'effluent brut entrant et de l'effluent sortant de ce bassin, alimenté en faible charge, sans traitement d'odeurs (Paing, 2001)

Paramètres	Effluent brut				Sortie lagune anaérobie			
	Moy.	Min.	Max.	σ	Moy.	Min.	Max.	σ
Température (°C)	18,6	12,2	25,3	4,1	17,3	17,3	25,8	5,7
pH	7,4	6,1	8,4	0,8	7,1	6,7	7,4	0,2
Potentiel rédox (mV)	-54	-128	108	62	-86	-150	1	43
MES (mg/l)	256	151	404	73	114	60	217	39
DCO brute (mg/l)	589	356	960	150	462	278	614	85
DCO filtrée (mg/l)	332	160	641	122	302	158	456	58
DCO particulaire (mg/l)	257	196	319	28	160	120	158	27
Bicarbonate (mg CaCO ₃)	321	121	477	77	380	214	487	61
AGV (mg ac.ac/l)	41	14	115	19	75	33	111	24
Sulfates (mg-SO₄²⁻/l)	165	96	222	30	57	3	121	33
Sulfures (mg-S/l)	3,8	0,0	8,8	2,3	19,2	3,2	36,4	8,3
Azote kjeldahl (mg-N/l)	59	25	92	20	61	30	83	17
Ammonium (mg-N/l)	45	16	63	12	51	26	68	12
Phosphore total (mg-P/l)	10,4	5,0	13,4	2,1	9,5	4,0	11,1	1,9

Pour les simulations, le choix a porté sur un seul bassin et les réactions qui se passent dans la phase liquide. Le modèle fonctionne essentiellement en DCO pour les substrats. Toutes les biomasses ne participent pas à l'hydrolyse a priori, donc nous avons pris un Xcd (biomasse dégradant le substrat combiné) global. Dans le cas présent, on considère que la composition de la biomasse en lipide, protéine et glucose est identique à

celle du substrat combiné. La fonction de décantation concerne les composés particulaires (X), seuls les X peuvent remonter (resuspension) et décanter au fond. Quant aux substrats solubles (S), ils se mélangent dans le volume d'eau et rejoignent les sédiments. Les paramètres de la sulfato-réduction utilisés lors des simulations dans WEST[®] sont présentés dans les tableaux 3 et 4.

Tableau 3: Valeurs des paramètres utilisés dans les simulations

Biomasse	μ_{\max} d ⁻¹	k_m gCOD/gCOD.j	K_s gCOD/l	K_{SO_4} gSO ₄ ²⁻ /l	Y gCOD/gCOD	k_{dec} d ⁻¹
X _{ac,so4}	0,51	8,8	0,024	0,0192	0,08	0,025
X _{h2,so4}	5,0	7,0	0,00005	0,0009	0,05	0,03

Tableau 4: Paramètres cinétiques et stœchiométriques utilisés dans le modèle APM/SR

Symbole	Description	unités
μ_{\max}	Taux de croissance maximum spécifique de Monod	d ⁻¹
k_m	Taux de consommation maximum de Monod	gCOD_S. gCOD_X ⁻¹ . d ⁻¹
Y_s	rendement de conversion du substrat en biomasse	gCOD_X. gCOD_S ⁻¹
K_s	Constante de demi-saturation des substrats	gCOD_S. l ⁻¹
K_{SO_4}	Constante de demi-saturation des sulfates	gSO ₄ ²⁻ . l ⁻¹
k_{dec}	Vitesse de mortalité du 1 ^{er} ordre	d ⁻¹
$k_{process}$	Paramètre cinétique du 1 ^{er} ordre (hydrolyse)	d ⁻¹
Y_{SO_4}	Rendement de conversion des sulfates en biomasse	gCOD_X. gSO ₄ ²⁻

3. RESULTATS DES SIMULATIONS ET DISCUSSION

Les résultats des simulations sont montrés sur la figure 2. L'état stationnaire est atteint après cent jours pour

les sulfates et les sulfures. Les concentrations en sulfates et en sulfures à l'état stationnaire sont égales à 53 mgSO₄²⁻/l et 57 mgS/l respectivement. Les tableaux 5 et 6 montrent les valeurs expérimentales et simulées pour les sulfates et les sulfures.

Tableau 5: Valeurs expérimentales et simulées pour les sulfates

	Valeurs expérimentales			Valeurs simulées			Différence
	Entrée	Sortie	Rendement	Entrée	Sortie	Rendement	
Sulfates $\text{mgSO}_4^{2-}/\text{l}$	55	19	65%	55	18	67%	2%

Tableau 6: Valeurs expérimentales et simulées pour les sulfures

	Valeurs expérimentales			Valeurs simulées			Différence
	Entrée	Sortie	Production	Entrée	Sortie	Production	
Sulfures mgS/l	3,8	19,2	15,4	3,8	57	53,2	37,8

Le rendement de la sulfato-réduction simulé est de 67%. Cette valeur est très proche du rendement expérimental moyen qui est de 65%. La concentration en sulfures simulée à l'état stationnaire est de 57 mgS/l . Stoechiométriquement, la consommation de 112 mgSO_4^{2-} conduit à la formation de 37 mgS/l . Avec les 4 mgS/l qui se trouvaient dans l'influent, la concentration totale en sulfures devrait être égale à 41 mgS/l , à condition qu'il n'y ait pas de réoxydation. La différence de 16 mgS/l entre la concentration en sulfures prévue par la stoechiométrie et celle donnée par WEST[®] est raisonnable étant donné que le volume du bassin anaérobie est élevé.

Il existe également une grande différence entre les concentrations en sulfures expérimentales et simulées. Un plus des sulfures qui passent dans

l'atmosphère sous formes de H_2S , deux autres hypothèses peuvent être avancées concernant cette différence: soit l'oxydation chimique des sulfures dans les couches supérieures aérobies ou la réoxydation biologique des sulfures par des bactéries sulfo-oxydantes. En effet, les bassins anaérobies ne sont pas strictement anaérobies. Il existe une couche supérieure aérobie dans laquelle peuvent se passer des réactions aérobies.

Les résultats obtenus par le logiciel WEST[®] prouvent qu'il est possible de prévoir la réduction des sulfates et la production des sulfures dans les bassins anaérobies. Pour avoir la quantité exacte des sulfures à l'équilibre, il faudrait incorporer dans le logiciel WEST[®] les fonctions qui expriment les équilibres de solubilité et de précipitation de H_2S .

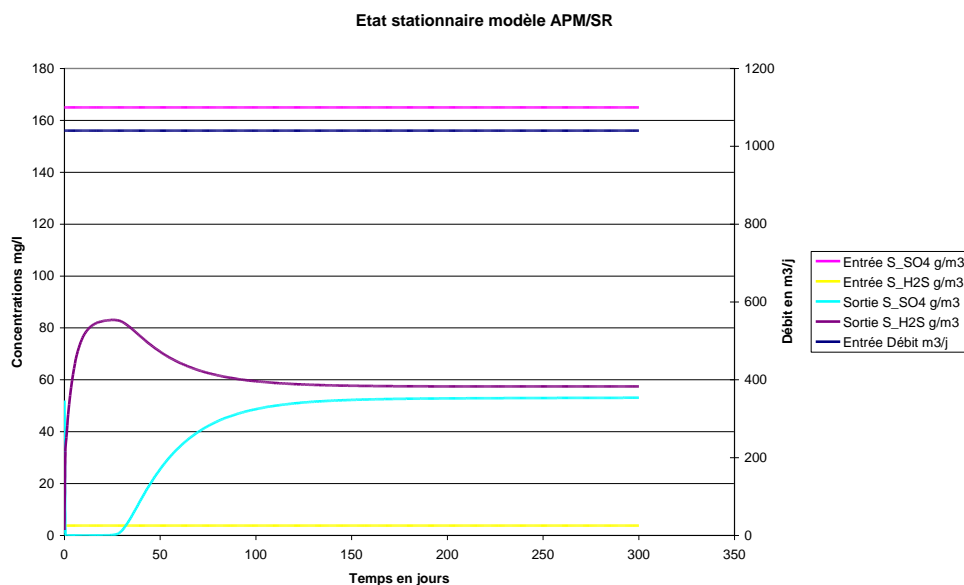


Fig. 2: Résultats de simulations des concentrations en sulfates et en sulfures à l'état stationnaire

4. CONCLUSION

Le modèle de la digestion anaérobie incluant la sulfato-réduction a été d'abord incorporé dans le logiciel de simulation des stations d'épuration WEST[®]. Ensuite, ce simulateur a été utilisé pour calculer les concentrations en sulfures et en sulfates à l'équilibre sur la station d'épuration de Mèze. Les résultats de

simulation prouvent que le modèle est structurellement valide, puisque la structure du modèle représente avec une exactitude raisonnable la relation de cause à effet du système réel. Le modèle présente également une validité prédictive puisque les prédictions du comportement du système sont raisonnablement conformes à l'observation du système réel.

BIBLIOGRAPHIE

- Harerimana C., Keffala C., Jupsin H., & Vasel J-L. (2012). Development of a simple model for anaerobic digestion based on preliminary measurements of the bacterial sulphur activity in wastewater stabilization ponds. *Environmental Technology*, iFirst 1-8 DOI: 10.1080/09593330.725773.
- Ingvorsen, K., Zehnder, A.J.B., & Jorgensen, B.B. (1984). Kinetics of sulphate uptake by desulfobacter postgatei. *Applied Environmental Microbiology*, **47**, 403-408.
- Kalyuzhnyi S.V., Fedorovich V., Lens P.N.L., Hulshoff L.P. & Lettinga G.,(1998). Mathematical modelling as a tool to study population dynamics between sulfate reducing and methanogenic bacteria. *Biodegradation*, **9**, 187-199.
- Koster I.W., Lenzima A., de Vegt A.L. & Lettinga G. (1986). Sulfide inhibition of the methanogenic activity of granular sludge at different pH levels. *Water Research*, **12**, 1561-1567.
- Lens P.N.L., & Hulshoff L.P. (2000). *Environmental Technologies to treat sulphur pollution, Principles and Engineering*. IWA Publishing, London, UK, pp. 547.
- Moosa S., Nemati M. & Harrison S.T.L. (2002). A kinetic study on anaerobic reduction of sulphate, Part I : Effect of sulphate concentration. *Chem. Eng. Sci* **57** : 2773-2780.
- Paing J. (2001). *Bilan du carbone et du soufre dans le lagunage anaérobie. Contrôle de l'émission d'H₂S pour la réduction des nuisances olfactives*. Thèse de doctorat : Université Montpellier I (France), pp.218.
- Rinzema A. (1988). *Anaerobic treatment of wastewater with high concentrations of lipid or sulphate*. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
- Tay J. H. (1982). Development of a settling model for primary settling tanks. *Water Research.*, **16**, 1413-1417.
- Visser A. (1995). The Anaerobic treatment of sulphate containing wastewater. PhD thesis, Wageningen Agricultural University, the Netherlands.
- Widdel F. (1988). *Microbiology and ecology of sulphate- and sulphur-reducing bacteria*. In *Biology of Anaerobic Microorganisms*, John Wiley and Sons, New York, pp. 469.

DISCOURS

Discours d'Accueil du Recteur

Excellences Messieurs les ambassadeurs,
Excellences Messieurs les ministres,
Mesdames, Messieurs les Directeurs Généraux,
Mesdames, Messieurs les Directeurs,
Madame, Messieurs les Doyens,
Mesdames, Messieurs les Professeurs,
Chers participants internationaux et nationaux,

Au nom de l'Université du Burundi et à mon nom propre, j'ai le plaisir de vous accueillir dans cette salle du CELAB où vont se dérouler les travaux du colloque international sur l'Environnement, le premier du genre à l'Université du Burundi.

Ce colloque s'inscrit dans les activités du projet CUD/UB et plus particulièrement dans l'activité UB02 : « **Formation et recherche en Sciences et en Agronomie** » parmi les 8 activités soutenues par la Coopération Universitaire pour le Développement, CUD en sigle.

Mesdames, Messieurs, permettez-moi de vous tracer brièvement le contexte actuel de la coopération Belge à travers cette coopération interuniversitaire (CIUF/CUD).

La CUD est venue au secours de l'Université du Burundi à peine à la sortie de la crise qui a frappé le Burundi depuis 1993.

En effet, la CUD a été le premier bailleur qui est venue auprès de l'UB en 2000 en proposant un soutien institutionnel par différents axes d'activités.

Les activités s'articulaient autour des objets globaux et spécifiques correspondant aux besoins prioritaires du pays.

Objectif global: « Former des cadres qualifiés pour les besoins de développement du Burundi »

Objectif spécifique : « Hausse de la qualité des services rendus par UB par une qualité de la formation mieux adaptée au marché de l'emploi et une recherche plus adéquate aux besoins de cette société »

Pour atteindre ces objectifs 8 activités ont été formulées et réalisées dont l'activité « **Formation et recherche en Sciences et en agronomie** ».

Dans cette activité impliquant les enseignants à la Faculté des Sciences et d'agronomie ; un accent particulier a été mis sur la formation en Master Complémentaire en Sciences de l'Environnement appuyée par une recherche multidisciplinaire.

En effet, depuis 2009, l'Université du Burundi organise, à travers cette activité, un master complémentaire en sciences de l'environnement (MCSE) après un autre programme de formation de DESS en Gestion de l'Environnement (2006-2007).

Comme l'heure d'entrer dans le nouveau système d'enseignement (système de Bologne) venait de sonner et que l'Université du Burundi s'inscrivait dans ce système international d'enseignement, nous avons pensé à organiser un master dans un domaine prioritaire de la politique du pays, à savoir le domaine de l'environnement.

A ce jour, deux promotions en Master Complémentaires en Sciences de l'Environnement ont déjà terminé leur formation et une 3^{ème} promotion est en cours pendant cette année académique.

Les enseignements sont organisés en binômes c'est-à-dire un Professeur Belge et un Professeur Burundais partagent un cours, ce qui permet un transfert d'expertise en vue d'assurer la durabilité. A partir de cette collaboration est né un projet PIC entre l'Université de Liège et l'Université du Burundi dans le domaine de l'assainissement (pollution des déchets liquides).

Les enseignants provenant de différents secteurs (publics et privés) et différents pays (*Belgique, Burundi et Rwanda*) partagent des expériences et assurent une formation à large spectre dans le domaine de l'environnement.

Les cours théoriques sont illustrés par des excursions et différents travaux de terrain.

Le bilan de ces formations est largement positif comme vous allez le constater dans l'exposé de madame le responsable de la formation de Master Complémentaire en Sciences de l'Environnement.

Je saisis l'occasion pour adresser mes vifs remerciements à toute personne qui s'est donné corps et âme pour que ces formations soient vraiment une réussite.

Permettez- moi de vous présenter ici, particulièrement 3 professeurs Belges qui tiennent à cœur notre institution.

Il s'agit de :

1° Professeur Jean Lejoly: promoteurs de plusieurs thèses doctorales des burundais dont celle de Madame le Directeur des services académiques et promoteur de DEA en Biologie organisé en 2003-2004

2° Professeur Claude Bragard, responsable Belge de l'activité UB02 : « **Formation et recherche en Sciences et en agronomie** » qui a organisé le présent colloque.

3° Professeur Gisèle Jung: promoteur de plusieurs mémoires de master dans le domaine des déchets solides et partenaire du PIC « Burundi Assainissement : "Etude de l'état de l'assainissement dans la ville de Bujumbura » **BURASSAIN** en sigle

Mesdames, Messieurs les participants, pendant ces deux jours, vous allez échanger sur les questions fondamentales touchant l'environnement terrestre et aquatique, l'urbanisation et la ruralité dans la région des grands lacs d'Afrique.

Les pays de cette région attendent donc beaucoup de vous car les conclusions et les recommandations issues de ce colloque vont sûrement aider nos pays à avancer dans le domaine de l'environnement.

Je vous souhaite donc un très bon succès.

Mesdames, Messieurs un tel événement ne peut pas avoir le jour sans l'appui matériel et financier des différents bailleurs.

En effet, après avoir contacté que l'appui financier de l'Université du Burundi et de la CUD ne pouvait pas couvrir les différents besoins du colloque, nous nous sommes adressés aux différents bailleurs du pays.

C'est donc un moment agréable pour moi, de remercier les bailleurs qui ont répondu positivement à notre requête ; il s'agit de : CRDI, BANCOBU, BBCI, INTERBANK, BRB, RAINBOW

En vous souhaitant encore une fois la bienvenue à l'Université du Burundi, je souhaite plein succès aux participants de ce Colloque International sur l'Environnement dont le thème central est : « **Environnement, Urbanisme et Ruralité dans la région des Grands Lacs d'Afrique : Défis ? Solutions ?** ».

Vive la coopération universitaire,
Vive le développement scientifique en Afrique,
Vive la formation intégrée en environnement.

Je vous remercie.

Le Recteur de l'Université du Burundi,

Pr Gaston HAKIZA

Menaces environnementales au Burundi, leur nature, leur ampleur

M. J Bigendako^{1,*}, J. Ndayishimiye² et E. Bizuru³

(1): Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Biologie, B.P. 2700 Bujumbura-Burundi.

(2): Université Nationale du Rwanda, Faculté des Sciences, Département de Biologie, B.P. 117 Butare-Rwanda.

(*): Adresse pour correspondance : jbigendako@yahoo.fr

Divers types de crimes environnementaux sont commis au Burundi malgré l'existence des textes légaux dont le code de l'environnement, le code forestier et le code foncier. Face à ces crimes, l'environnement est en continuelle dégradation. Comme conséquence, on observe que le bien être de la population est menacé. La présente étude a pour objectif de montrer grâce à la collecte des données bibliographiques et la collecte des données de terrain, une analyse de l'état de l'environnement au Burundi, du commerce illégal de la faune et de la flore, de l'état de déversement des déchets et du régime de la gouvernance en rapport avec la lutte contre les crimes environnementaux. Les résultats issus de cette étude permettront d'identifier et d'évaluer l'efficacité et les défis des institutions dans la détection et la lutte contre les crimes environnementaux au Burundi.

Etat actuel de la diversité floristique du Burundi et perspectives d'avenir

Balthazar Mpawenayo^{1*} & Joël Ndayishimiye²

(1) Université du Burundi, Institut de Pédagogie Appliquée, Université du Burundi, B.P. 5223 Bujumbura, Burundi.

(2) Université du Burundi, Facultés des Sciences, Département de Biologie, BP. 2700 Bujumbura, Burundi.

* Adresse pour correspondance : mpawenayob@yahoo.com

Le Burundi est caractérisé par des écosystèmes très variés et regorge d'une multitude d'espèces végétales évaluées à plus de 3000 espèces de plantes supérieures. Ces dernières ont été collectées lors de l'exploration botanique au Burundi réalisée par des chercheurs nationaux et belges qui ont sillonné une partie importante du Burundi. Le présent exposé cherche à montrer l'état actuel des connaissances sur la diversité floristique au Burundi, tout en mettant un accent particulier sur les études réalisées sur les Fabaceae récoltées au Burundi entre 1922 et 2005. Afin de pérenniser les travaux de recherche en Botanique et avoir une meilleure connaissance de la diversité floristique du Burundi, des recherches devraient être orientées prochainement vers les zones les moins explorées et porter sur divers aspects de la biodiversité qui sont mentionnés dans le présent exposé.

Facteurs de dégradation du milieu naturel et stratégies de restauration en territoires d'Uvira et de Fizi, République Démocratique du Congo

Masumbuko Céphas Ndabaga

Université Officielle de Bukavu, Faculté des Sciences, Département de Biologie, B.P. 570 Bukavu ;
masundab2002@yahoo.fr

Dans les territoires d'Uvira et de Fizi situés à l'Est de la République Démocratique du Congo, une simple vue sur le milieu naturel renseigne qu'il y a une forte dégradation de l'environnement. Une bonne surface de ces deux territoires se localise en zone de montagne dont la grande partie est incluse dans le massif d'Itombwe. En 2010, le Cadre de Concertation des Reboiseurs a élaboré une liste des essences végétales en disparition. Les causes liées à la dégradation de l'environnement ont été présentées. Mais des propositions concrètes permettant une gestion durable des milieux naturels n'ont pas été suggérées. Dans ce travail, nous avons analysé les usages des essences d'arbres qui sont à la base de la surexploitation des forêts. Nombreuses espèces d'arbres sont utilisées comme source d'énergie (fabrication de braise ou bois de chauffe), d'autres dans la construction (bois d'œuvre) et d'autres dans le traitement des maladies (remède). En tenant compte de l'épuisement accéléré des arbres dans les forêts des territoires d'Uvira et de Fizi, un travail de zonage a été recommandé et des stratégies de gestion et/ou de restauration des milieux naturels ont été proposées.

Pression foncière face à la croissance démographique: Cas de la province de Kirundo au nord du Burundi

Minani Bonaventure*

Directeur du Centre de Recherche en Agriculture et Développement Rural (CERADER) de l'Université de Ngozi

*Adresse pour correspondance : bnminani@yahoo.fr

Le Burundi compte huit millions d'habitants sur une superficie de 27834 km², ce qui en fait un des pays les plus densément peuplés du monde. Plus de 90% de cette population vivent en milieu rural. Elle exerce une forte pression sur les terres qui deviennent de plus en plus exiguës. En province de Kirundo cette population est passée de 404564 habitants en 1990 à 628 256 habitants en 2008, soit une croissance démographique annuelle de 3.17 %. Notre étude a été menée en province de Kirundo au nord du Burundi où 355 exploitants agricoles ont été enquêtés dans les communes de Bugabira, Busoni, Bwambarangwe, Gitobe, Kirundo, Ntega et Vumbi respectivement 50, 75, 30, 40, 55, 55 et 50 exploitants agricoles. Le nombre de ménages agricoles enquêtés était fonction de la pondération du nombre d'exploitants dans chaque commune. Cette enquête était complétée par une étude documentaire. Les résultats issus de l'analyse des données montrent que la taille moyenne des ménages est de 5.01. Parmi les exploitants agricoles enquêtés 54 % ont une superficie de 0.234 ha, 25 % ayant une superficie de 0.678 ha tandis que 21 % seulement possèdent une superficie de plus d'un hectare. L'amenuisement des terres a provoqué une intensification des terres allant jusqu'à 200 % sans technique de renouvellement de la fertilité. Cette surexploitation des sols provoquant ainsi une infertilité et une forte érosion de ces derniers a engendré une diminution de la production agricole. La raréfaction croissante des terres a provoqué de nombreux conflits relatifs à la propriété, aux successions et aux limites des parcelles ; elle a également entraîné un exode rural des jeunes vers les villes à cause du désœuvrement observé chez les exploitants agricoles ayant des ressources naturelles limitées, mais aussi des mariages précoces chez leurs enfants. Certains exploitants ont laissé de cultiver leurs champs à cause de leur improductivité. Un facteur particulièrement visible de la dégradation de l'environnement au niveau de cette province est le déboisement continu sans technique de protection des sols provoquant ainsi un changement climatique.

Outil d'évaluation et de gestion des risques afférents aux rivières qui traversent la ville de Bujumbura : cas de la rivière Ntakangwa

Nibigira Léonidas

Université de Liège, Faculté des Sciences ; leonidas.nibigira@hotmail.com

Depuis des décennies, la ville de Bujumbura fait objet des inondations récurrentes. Les répercussions de cette situation sur les habitations et les infrastructures sociales ne cessent de croître. En même temps capitale économique et politique, les dégâts qui en résultent coûtent cher à l'économie burundaise. Sur base d'une étude centrée sur l'une de ces rivières, la rivière Ntakangwa, ce travail essaye de répondre à certaines interrogations en rapport avec les causes potentielles ainsi que les moyens de prévention et de gestion du risque d'inondation. A l'aide d'une méthodologie fondée sur l'exploitation des données pluviométriques, géographiques, démographiques, topographiques et altimétriques, l'ouvrage fait découvrir que, malgré leur rythme d'occurrence très irrégulier, ces inondations ne peuvent pas être considérées comme une fatalité à part entière. En effet, le risque est défini chaque fois qu'il y a présence d'un aléa et d'une vulnérabilité. Une modélisation hydraulique nous révèle la portée de l'aléa inondation selon sa probabilité d'occurrence. Cela nous a permis de proposer des solutions et des mesures y relatives. Quant à la composante liée à la vulnérabilité, un changement de comportement doit être de rigueur, tant au niveau du choix des espaces où construire qu'au niveau des activités liées à l'exploitation des rivières.

Mots clés: *inondation, vulnérabilité, aléa, écoulement, risque, profil*

Conservation et gestion durable de la biodiversité du Parc National de la Ruvubu (Burundi) : contexte, contraintes et axes de suivi

Masharabu Tatien

Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Biologie, BP. 2700 Bujumbura, Burundi ; masharabin@yahoo.fr

Dans le contexte du Burundi et dans un contexte global de la pression anthropique et des changements climatiques, il est important de repenser les stratégies de conservation. L'article consiste en une synthèse de la littérature disponible sur le Parc National de la Ruvubu (PNR), la plus grande aire protégée du Burundi ainsi que les textes légaux en matière d'environnement. A travers une analyse faisant référence aux théories de la conservation et de l'utilisation de la biodiversité, le papier fournit des lignes directrices de nature à promouvoir la survie du système d'aires protégées et la garantie des services écosystémiques.

Contribution to the identification of resources and the planning of swamps of Burundi: Case of swamps of River Mubarazi watershed

Niyungeko A.^{1,*}, Ntakimazi G¹., Micha J.C².

(1): Université du Burundi, Facultés des Sciences, Département de Biologie, BP. 2700 Bujumbura, Burundi. (2) : Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix (FUNDP) ; niyunge.alexis@yahoo.fr

Les seuls moyens dont dispose le Burundi pour étendre les terrains agricoles sont les marais non encore exploités. Le but du présent travail était d'apporter notre contribution à la connaissance des ressources dont dispose le marais de la Mubarazi. L'autre objectif était de proposer un plan de mise en valeur d'un marais au choix (la partie aval du marais de Mubarazi) afin de pouvoir mettre à profit ses diverses ressources. Les informations recueillies auprès des divers acteurs et des exploitants de ces marais révèlent que la grande majorité des marais du bassin versant de la rivière Mubarazi sont exploités anarchiquement et sans aucune mesure contraignante de la part des responsables. Ceci ne permet pas aux exploitants d'avoir une production suffisante alors que la population de cette région vit dans une insécurité alimentaire. Son action entraîne d'autres conséquences fâcheuses sur l'environnement et les ressources qu'il contient. Ces informations permettent également d'identifier les ressources dont disposent ces marais et qui, une fois exploitées rationnellement peuvent être à l'origine du changement de la situation du point de vue sécurité alimentaire. Leurs ressources sont notamment les grandes étendues de marais, les réserves en eau, divers matériaux utilisables pour la construction (sable, moellons, graviers, argile), sans oublier les espèces aquatiques d'importance alimentaire et économique comme le poisson. L'aménagement de la partie aval du marais de Mubarazi permettrait de capitaliser pas mal de ressources et en même temps d'augmenter la production et les revenus de la population riveraine. Notre proposition est la combinaison de la rizi-pisciculture à l'élevage des poules. Ceci se traduirait par la création de l'emploi lors de la mise en place des infrastructures de cet aménagement, par l'augmentation des productions rizicoles, piscicoles et de la volaille, ce qui réduit considérablement l'insécurité alimentaire et permet d'augmenter les revenus. Pour une bonne réussite, nous proposons qu'il y ait des zones à garder intactes et indemnes de tout aménagement pour préserver l'équilibre environnemental, pour que ces zones servent d'éponges pour l'épuration des eaux venant des zones aménagées et servir de refuges pour diverses espèces aquatiques du marais. En définitive, pour que la mise en valeur de ces marais soit effective, il est plus qu'urgent que les pouvoirs publics s'y investissent au point de vue technique, financière et organisationnelle, par la recherche, la sensibilisation de tous les acteurs et la mise en place des mécanismes permettant à la population riveraine d'avoir un léger mieux tout en protégeant l'environnement.

Preliminary fish diversity assessment of Lowa River Eastern of Republic Democratic of Congo

Kisesselwa T.⁽¹⁾, Isumbisho M.P⁽¹⁾, Ntakimazi G⁽²⁾. & Micha J.C⁽³⁾

(1) UERHA/ISP Bukavu; kisengoja@yahoo.fr

(2) Université du Burundi, Facultés des Sciences, Département de Biologie, BP. 2700 Bujumbura, Burundi

(3) : Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix (FUNDP)

In this study, nineteen species (*Clarias* sp., *Parauchenoglanis punctatus*, *Pollimyrus* sp., *Oreochromis niloticus*, *Mastacembellus congicus*, *Labeo lukulae*, *L. macrostomus*, *Barbus* spp., *Bryconaethiops boulengeri*, *Brycinus* aff. *poptae*, *Pareutropius debauwi*, *Bagrus bayad*, *Chrysichtys graueri*, *Mormyrus caballus*, *Myomyrus* aff. *Macrops*, *Marcusenius* sp., *Raiamas* sp., *Micralestes humilis* and *Distichodus altus*) have been collected in Lowa. These fishes belong to 4 orders (Siluriforms, Mormyriiforms, Perciforms and Cypriniforms) and 10 families: Clariidae, Schilbeidae, Bagridae, Claroteidae, Mormyridae, Cichlidae, Mastacembellidae, Cyprinidae, Alestidae and Distichodontidae. Eighteen genera are almost monospecific except the genus *Labeo*. Fish species distribution in the different habitats of Lowa river is driven by substratum characteristics. Clariidae, Claroteidae, Bagridae, Schilbeidae, Mormyridae have been collected in shallow slow waters with a soft substratum. Cyprinidae, Alestidae and Distichodontidae were found in rapid waters and close to vegetated habitats. Mastacembellidae are distributed in submerged vegetation roots in inshore habitats. Cichlidae were quite rare in catches. Some species were limited by waterfalls. *Marcusenius* sp. and *Myomyrus* were found only upstream Boboro waterfall while *Synodontis* and *Malapterurus* were collected only downstream.

Effects of water quality in Nyabarongo river on *Clarias sp* fish communities

Munyuli Théodore^{1,2} & Tete Pascal²

(1) Department of Biology, National Center for Research in Natural Sciences, CRSN-Lwiro, D.S.Bukavu, Democratic Republic of Congo; tmnyuli@yahoo.com, tmunyuli@gmail.com, Mobile: +243992143245

(2) Department of environment, National Center for Research in Natural Sciences, CRSN-Lwiro, D.S.Bukavu, Democratic Republic of Congo

Water is a valued natural resource for the existence of all living organisms. Management of the quality of this precious resource is, therefore, of special importance. In this study river water samples were collected and analyzed for physicochemical and bacteriological evaluation of pollution in the lower stream segment of Nyabarongo River in South-Kivu Province of eastern D R Congo. Juvenile samples of *Clarias sp* fish were collected from the segment and were analyzed for comparative histological investigations and bacterial density in the liver and intestine in order to evaluate the impact of pollution on the aquatic biota. The water pH was found to range from 6.32 to 6.66 with a mean temperature range of 23.3 to 25.78 °C. Other physicochemical parameters monitored including total suspended solids, total dissolved solids, biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand values exceeded the recommended level for surface water quality. Results of bacteriological analyses including total heterotrophic count, total coliform and thermotolerant coliform counts revealed a high level of fecal pollution of the river. Histological investigations revealed no significant alterations in tissue structure, but a notable comparative distinction of higher bacterial density in the intestine and liver tissues of *Clarias* from the River. It was inferred that the downstream Nyabarongo River is polluted and its aquatic biota is bacteriologically contaminated and unsafe for human and animal consumption.

Keywords: *Nyabarongo River, physicochemical parameters; histological; water quality; pollution*

Voies de traitements de déchets solides : valorisations matière et énergie

JUNG C. Gisèle

Université Libre de Bruxelles – Belgium; cgjung@ulb.ac.be

La connaissance du déchet est primordiale si l'on souhaite déterminer le mode de traitement le mieux adapté en tenant compte des circonstances locales et avec l'objectif essentiel d'un développement durable. En effet, en fonction de la composition d'un déchet, le choix d'une valorisation matière ou énergie doit être effectué dans des conditions économiquement acceptables en respectant les contraintes environnementales. Le choix d'une technologie doit se faire en relation avec la situation locale en fonction de la nature et de la dispersion des déchets. La connaissance de la nature et des caractéristiques du déchet permet d'orienter vers un choix de filière approprié. Une première manière de procéder est d'en définir les composants essentiels. Chaque composant présente ses caractéristiques propres. Lorsqu'on dispose d'un échantillon représentatif du déchet, on peut en définir l'humidité (ou la teneur en matières sèches), la teneur en cendres (sur matières sèches), le rapport matières volatiles / matières sèches, la présence de divers polluants potentiels (métaux lourds, chlore et soufre total, hydrocarbures poly aromatiques et dérivés, etc.) et son pouvoir calorifique inférieur (PCI en MJ/kg). Les différentes filières de traitement des déchets peuvent alors être examinées sur les plans récupération matières et valorisation énergétique sur base de la caractérisation. L'enfouissement technique effectué en Centres d'Enfouissement Technique (CET) autrefois dénommés les décharges, ne permet aucune valorisation, sauf s'il est accompagné par une collecte des gaz émis (méthanisation) et leur combustion. Le compostage et la biométhanisation sont particulièrement bien adaptés à la fraction «organique» ou «fermentescible» des déchets ménagers comprend la partie «putrescible» des déchets, c'est-à-dire les « biodéchets », composés des déchets alimentaires, des produits alimentaires non consommés et des déchets verts et agricoles. Les biodéchets sont susceptibles d'avoir des incidences majeures sur l'environnement mais renferment aussi un potentiel considérable en tant que source d'énergie renouvelable et matériaux recyclés. Mis en décharge, ils se décomposent et produisent des gaz et lixiviats de décharge : non capté, ce gaz contribue fortement à l'effet de serre car il se compose principalement de méthane. La fraction fermentescible peut être restreinte aux seuls déchets collectés séparément et, inversement, étendue aux déchets de biomasse en général, ce qui revient alors à distinguer les déchets en fonction de leur nature plutôt que de leur origine. La valorisation énergétique par traitements thermiques de certains déchets solides, de préférence à haut pouvoir calorifique (PCI élevé) sont proposées et sont classées en fonction du rapport air/déchet : en présence d'un excès d'air, il y a combustion (incinération et co-combustion), en présence d'un défaut d'air ou de vapeur d'eau, il y a gazéification et enfin, en absence totale d'air, il y a thermolyse (pyrolysis). Les filières de traitement thermiques présentent l'avantage de transformer la fraction organique des matières contenues dans les déchets en combustibles de substitution avec la possibilité de produire de l'électricité dans des régions qui en sont dépourvues. Cette solution est à examiner

dans le cadre d'un développement durable avec valorisation de déchets solides spécifiques et caractérisés, pour une production d'énergie utile à moyen et long terme.

Application d'un modèle simple de la digestion anaérobie incluant la sulfato-réduction et la sulfo-oxydation au lagunage anaérobie

Harerimana Casimir^{1,*}, Ndikumana Théophile², Chéma Keffala³, Jean Luc Vassel³

(1) Université du Burundi, Institut de Pédagogie Appliquée, Université du Burundi, B.P. 5223 Bujumbura, Burundi; harecasimir@yahoo.fr

(2) Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Chimie, B.P. 2700 Bujumbura-Burundi.

(3) Université de Liège. Département des Sciences et Gestion de l'Environnement. Unité "Assainissement et Environnement" Avenue de Longwy, 185. B-6700 Arlon, Belgique

Un des inconvénients régulièrement cités de la technique du lagunage est la production d'odeurs nauséabondes, souvent associées à la présence de sulfure d'hydrogène (H₂S), lui-même engendré par le processus de sulfato-réduction. L'objectif spécifique que nous nous sommes fixés lors de l'élaboration du modèle de la digestion anaérobie incluant la sulfato-réduction et la sulfo-oxydation au lagunage anaérobie, était de pouvoir prédire la production des odeurs en lagunage anaérobie, en fonction des paramètres du milieu. Pour arriver à cette fin, nous avons procédé par la modélisation théorique et par la modélisation expérimentale. Notre démarche s'est déroulée en trois grandes étapes :

1° Expérimentation : nous avons réalisés des essais pour étudier le phénomène de la réduction des sulfates.

2° Modélisation : nous avons fait une représentation mathématique du déroulement de phénomènes biologiques, physiques, chimiques impliqués dans la digestion anaérobie incluant la sulfato-réduction. 3° Simulation : nous avons d'abord incorporé notre modèle dans le logiciel de simulation des stations d'épuration WEST®, et nous avons utilisé ce simulateur pour calculer les concentrations en sulfures et en sulfates à l'équilibre sur la station d'épuration de Mèze en France. Les résultats obtenus par le logiciel WEST® prouvent qu'il est possible de prévoir la réduction des sulfates et la production des sulfures dans les bassins anaérobies. Notre modèle est structurellement valide, puisque la structure du modèle représente avec une exactitude raisonnable la relation de cause à effet du système réel. Notre modèle présente également une validité prédictive puisque les prédictions du comportement du système sont raisonnablement conformes à l'observation du système réel.

Mots clés : Sulfato-réduction, Sulfo-oxydation, Modélisation, Lagunage anaérobie, WEST

Impact des collecteurs d'eaux pluviales sur la baie Nord-est du lac Tanganyika

Ndikumana Th.^{1,*}, Bizindavyi E. & Kisoholo A.

(1) Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Chimie, B.P. 2700 Bujumbura-Burundi.

* Adresse de correspondance : theo.ndikumana@gmail.com

Le centre de la ville Bujumbura est traversé par des collecteurs d'eaux pluviales qui débouchent dans la baie Nord-est du lac Tanganyika. Ces collecteurs, simplement dénommés R1, R2, R3, R4 et R5 se concentrent entre l'ancien Cercle nautique et le port de Bujumbura. La présente étude porte sur la mesure des paramètres de pollution et du débit des collecteurs R1, R2 et R3. Les paramètres de pollution, mesurés par l'utilisation des kits de réactifs et évalués par un photomètre sont la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO₅), les ions ammonium, nitrate et phosphate. Ils permettent d'établir le pollutogramme de ces collecteurs. Le débit a été mesuré par la méthode d'injection de bulles en période sèche et en période humide. Les variations du débit, au cours de la journée, permettent d'évaluer l'hydrogramme du collecteur. Le débit journalier étant de 9446 m³ ces valeurs nous permettent d'évaluer la charge polluante déversée dans la baie Nord-est du lac Tanganyika à hauteur de: DCO : 11269 kg ; DBO₅ : 1195kg ; NO₃ : 87 kg; NH₄ : 113 kg; PO₄ : 61 kg. Ces quantités de polluants riches en nutriments expliquent la prolifération de plantes dans la zone sous étude avec risque d'eutrophisation de la baie.

Bujumbura, ses consommations et ses déchets: *illustration par un film documentaire*

Mizero M.^{1,*} & Ndikumana Th.²

(1) Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Technologies agroalimentaires, Université du Burundi; mizero144@yahoo.fr

(2) Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Chimie, B.P. 2700 Bujumbura-Burundi.

La ville de Bujumbura (Burundi), abrite actuellement plus de cinq cents mille habitants répartis dans plusieurs quartiers de standings assez différents. Les activités menées quotidiennement et les modes d'alimentation conduisent à une production de déchets solides municipaux (DSM) représentant un tonnage important. La quantification et la caractérisation des déchets solides municipaux permettent de connaître ce qu'il y a à gérer. L'estimation de la quantité de déchets solides municipaux (DSM) par habitant et par jour s'est basée sur le relevé des volumes des DSM déversés quotidiennement par des camions à ordures à la décharge publique de Mubone. La caractérisation a porté sur un volume de 8,8 m³ équivalent à 4.7 tonnes de DSM triés par une main d'œuvre de 72 hommes-jour. De cette évaluation, il ressort qu'un habitant de la ville de Bujumbura produit en moyenne 0,6 kg/jour soit 217 kg/an dont 57% représentent les déchets fermentescibles, contre 43% de déchets non fermentescibles. Ces derniers sont constitués principalement de verre (15%), de sachets et bouteilles en plastiques (8%), de papier et carton (6%) et d'objets métalliques (5%). Le bois et ses dérivés représentent 3% et le textile 4%. Des produits biomédicaux et autres déchets dangereux ont été également identifiés à raison de 2% de la quantité de DSM triés. Ce travail porte seulement sur ce qui est amené à la décharge de Buterere. Sachant qu'à travers la ville des décharges sauvages jonchent les coins de rues des quartiers entourant le centre ville, le documentaire projeté illustre la nécessité d'une éducation environnementale des populations citadines, ainsi que le besoin de protéger l'environnement et les populations riveraines par l'aménagement d'une décharge contrôlée.

Evaluation des impacts économiques du changement climatique au Burundi

Sabushimike Jean Marie¹

(1): Université du Burundi, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département de Géographie; sabujm2000@yahoo.fr.

La deuxième communication nationale 2008 sur le changement climatique au Burundi confirme que le réchauffement local est plus important par rapport à la moyenne régionale ou encore plus à la moyenne planétaire. Si au niveau mondial la hausse de la température moyenne au 21^{ème} siècle a été de 0.74°C, cette augmentation au Burundi se situe entre 1.5°C dans les hautes terres et 2°C dans les basses terres du pays, soit plus du double que la hausse moyenne du Globe terrestre. De plus, les modèles climatiques prévoient pour le Burundi des événements météorologiques extrêmes qui seront marqués par une augmentation de la température de 1°C combinée à une alternance des épisodes cycliques de 10 ans tantôt plus pluvieux, tantôt plus secs 2010 jusqu'à l'horizon 2050. Cette analyse a comme ambition essentielle de déterminer les impacts économiques de ces changements climatiques sur les secteurs clés de la vie nationale comme l'agriculture, la santé, l'eau et l'environnement, les infrastructures, l'énergie, la biodiversité et autres services des écosystèmes naturels au Burundi. Les pertes économiques exprimées dans cet article montrent à suffisance que le Burundi est déjà confronté à l'urgence aiguë d'une crise qui relie aujourd'hui et demain. Mais, le Burundi était en apparence peu soumis aux risques et catastrophes climatiques, et cela jusqu'à une époque relativement récente. Depuis plus d'une décennie, des événements météorologiques extrêmes frappent durement le pays. Il s'agit principalement des sécheresses répétitives et sévères, des pluies diluviennes accompagnées d'inondations et de glissements de terrain et autres pertes en terre énormes, des tempêtes tropicales destructrices et enfin des épidémies de maladies dues soit aux sécheresses, soit aux inondations. C'est dans cet esprit que cette évaluation des impacts économiques des changements climatiques au Burundi devrait alerter davantage l'opinion publique sur l'urgence des défis auxquels le pays est confronté. Elle stimulera sans doute un débat national sur les actions possibles du gouvernement, du secteur privé et de la société civile pour la lutte contre le changement climatique à base d'une économie politique et environnementale d'adaptation nationale et sous régionale.

Analyse du potentiel des insectes comestibles dans l'amélioration de la sécurité alimentaire, la nutrition et l'adaptation au changement climatique dans le bassin du Lac Victoria

Ndimubandi, J.⁽¹⁾; Nyeko, P.⁽²⁾; Okia, C.⁽³⁾; Nzabamwita, P.⁽⁴⁾; Odongo, W.⁽⁵⁾; Nusula, N.⁽⁶⁾

(1) Faculty of Agricultural Sciences, University of Burundi, P.O Box 1555 Bujumbura, Burundi; jean.ndimubandi@gmail.com

(2) Department of Forestry, Biodiversity & Tourism, Makerere University, P.O Box 7062, Kampala, Uganda.

(3) Department of Extension and Innovation Studies, Makerere University, P.O Box 7062, Kampala, Uganda,

(4) Department of Forestry and Nature Conservation, ISAE-Busogo, P.O Box Musanze 210, Northern Province, Rwanda.

(5) Department of Rural Development and Agribusiness, Gulu University, P.O Box 166, Gulu Uganda,

(6) Natural Chemotherapeutics Research Laboratory, Ministry of Health, P.O. Box 4864, Kampala, Uganda,

Les insectes comestibles constituent une source importante de nourriture en Afrique, mais leur potentiel pour améliorer les moyens de subsistance et la conservation de l'environnement n'a pas encore été pleinement exploité. En 2011, le Conseil interuniversitaire pour l'Afrique orientale (IUCEA) a approuvé et a fourni un soutien financier pour ce projet de 3 ans sur les insectes comestibles dans le bassin du lac Victoria (BLV). Le projet vise à accroître l'utilisation des insectes comestibles dans le BLV, avec une attention particulière à l'augmentation de la sécurité alimentaire des ménages, la santé, la nutrition et les revenus des communautés locales, d'une part, et de contribuer à l'adaptation aux changements climatiques d'autre part. Les groupes de discussion (focus groups) et enquêtes auprès des ménages à l'aide d'un questionnaire pré-testé ont été menées dans des districts sélectionnés dans les pays de l'étude pour documenter les connaissances autochtones, les perceptions, les préférences et les pratiques sur les insectes comestibles et l'adaptation au changement climatique. D'autres enquêtes au niveau des ménages et des marchés ruraux et urbains ont été lancées pour analyser les opportunités de marché, les acteurs du marché et de la chaîne de valeur des produits comestibles d'insectes en vue d'élaborer des directives commerciales appropriées pour aider les producteurs. Les ménages sélectionnés pour les enquêtes sur les connaissances et pratiques autochtones ont également été interviewés pour leur commercialisation des produits d'insectes. Des statistiques descriptives ont été utilisées pour fournir des conclusions préliminaires des enquêtes. La collecte d'échantillons d'insectes comestibles en utilisant diverses techniques est en cours. Les échantillons sont photographiés et conservés avec de l'éthanol, de l'azote liquide avec les objectifs suivants: (i) développement des collections de référence et catalogues des espèces comme des outils pour l'identification des insectes comestibles, (ii) détermination des valeurs nutritives et des contaminants dans les espèces d'insectes comestibles des différents systèmes d'exploitation agricole, et (iii) exploration des possibilités de développement de nouveaux produits présentant un potentiel de commercialisation pour les enfants malnutris et les personnes malades. Les sites d'étude ont été identifiés dans les trois pays pour évaluer les effets du changement d'utilisation des terres et de la saisonnalité sur la structure de la communauté, l'abondance, la diversité et le caractère saisonnier de certaines espèces. Les résultats des enquêtes des ménages et des groupes de discussion ont montré que jusqu'à 21 espèces d'insectes ont été consommées en Ouganda, et 13 et 6 respectivement au Burundi et au Rwanda. La source la plus commune d'insectes comestibles dans les ménages était leur propre collection dans la nature même si un certain nombre d'insectes sont également achetés sur les marchés ou obtenus comme dons de la part des voisins, des amis ou des parents. Les diverses communautés locales ont rapporté différentes façons de collecter, traiter et stocker les insectes. Dans l'ensemble, la plupart de ces activités sont restées sous-développées et nécessitent des interventions technologiques appropriées. Malgré la consommation très courante d'insectes comestibles, aucun effort n'a été signalé sur la conservation et l'élevage de l'un ou l'autre insecte comestible dans les trois pays. Cela soulève de sérieuses questions en rapport avec la consommation durable des insectes comestibles, en particulier dans le contexte des changements climatiques dans la région.

Economic valuation of irrigation water in smallholder farming system in Rwanda: the case of kibaya-cyunuzi scheme

Ngabitsinze Jean Chrysostome¹ & Urujeni Sandrine²

(1) Ngabitsinze Jean Chrysostome is a senior Lecturer and head of Agricultural Economics and Agribusiness Department, National University of Rwanda, and Chairman of national Land Commission, Ministry of Natural resources; jeanchrysostome@hotmail.com

(2) Urujeni Sandrine, is Assistant Lecturer in the Agricultural Economics and Agribusiness department, National University of Rwanda

This study has been carried out in one irrigation scheme of the Eastern Province, Rwanda. The study determined the economic value of irrigation water of a smallholder irrigation scheme (Kibaya-Cyunuzi Scheme). The specific objectives were to estimate the economic value of water for irrigation, investigate the willingness to pay among smallholder farmers for irrigation water in Kibaya-Cyunuzi scheme and to identify the impact of Irrigation Management Transfer using water users' association on water allocation and management in the scheme. The study counted on the data collected from 110 respondents from two villages which are Kibaya and Cyunuzi. Data were analyzed using descriptive and quantitative methods. The Residual Computation Method was used to compute the economic values of irrigation water for paddy as a main crop found in the scheme. The Contingent Valuation Method was employed to elicit the willingness to pay for irrigation water and its related infrastructures; while the socio-technical analysis helped us to capture the process of water control and management through Water users association. The findings showed that, the economic value of water for irrigation for paddy was 5.33 Rwf/m³. The economic value for paddy is low in that scheme due to the fact that, paddy uses much water and some parts of that scheme don't have sufficient water. The results from CVM indicated that, the respondents were willing to pay an average of 8000 Rwf per Ha per annum for irrigation water. The study showed also that the WUAs are becoming realms of interaction for different interest groups involved in water management. The study elicited some problems faced by farmers in the scheme; it therefore recommends some joint effort among stakeholders in order to improve farming in that scheme. The decision making process related to water sector investments, allocation and management could be potentially guided if key dimensions

of water that are related to water availability and use in the face of increased scarcity are properly accounted for in valuation.

Plaidoyer pour l'approche terroir comme méthode de développement rural, étude de cas

J. Lejoly^{1,*}

(1) Université Libre de Bruxelles, Herbarium de l'Université Libre de Bruxelles (BRLU)
50 Avenue F. Roosevelt - CP 169, B-1050 Bruxelles, Belgique.

* Adresse de correspondance : jlejoly@ulb.ac.be

Un peu partout, en Afrique, la pression démographique est réelle, mettant à mal les systèmes culturels ancestraux et de gestion de l'espace qui avaient pourtant fait leurs preuves. Les nouvelles habitudes de vie exercent également une pression inhabituelle sur l'environnement. Certaines spéculations, telles que l'exploitation des forêts, modifient le rapport à son usage. D'autre part, la décentralisation du pouvoir devient une réalité, l'espace communal est mis en avant. Le changement dans l'utilisation des ressources naturelles devient dès lors, inéluctable. La **gestion des terroirs** est une approche de développement rural basée sur la participation et la responsabilisation des populations. Cette forme de gestion représente un moyen d'améliorer les revenus et le bien être. Elle réconcilie la croissance économique avec la protection de l'environnement et la cohésion sociale. Elle est donc clairement orientée vers le développement durable.

Le cas de la commune de Mukike est abordé à titre d'exemple de la méthode. La commune de Mukike est l'une des 11 communes de la Province de Bujumbura Rural au Burundi ; elle est distante de 55 km de la ville de Bujumbura et s'étend sur une superficie d'environ 125 km². Selon les résultats du dernier recensement en août 2008 la population est évaluée à 25.088 avec une densité moyenne relativement faible (200 habitants/km²). La commune est divisée en 3 zones administratives (Mayuyu, Rukina, et Bikanka), elles-mêmes réparties sur 11 collines de recensement.

L'application de l'approche terroir à Mukike est effectuée avec le soutien du Service Laïque de Coopération au Développement (SLCD, ONG belge). Le partenaire du SLCD est la Direction Provinciale de l'Agriculture et de l'Élevage (DPAE) de la Province de Bujumbura Rural. A la demande du DPAE, le SLCD a introduit un projet de développement de la commune de Mukike auprès de la coopération belge qui a donné son accord pour apporter des financements pour la période 2008 – 2014.

Le projet vise l'augmentation qualitative et quantitative des productions agricoles et animales dans la commune; cette action correspond au premier axe stratégique retenu dans le Plan Communal de Développement Communautaire (PCDC) de Mukike (2009). L'intervention s'inscrit aussi dans la Stratégie Nationale Agricole du Burundi par le soutien au centre semencier de Ruzibazi situé à Mukike. Les résultats attendus du projet d'approche terroir à Mukike pour 2011-2014 sont les suivants: les revenus de 200 ménages membres de 9 groupements paysans sont durablement améliorés grâce à une augmentation de leurs productions agricoles et la plus grande disponibilité de semences améliorées de pomme de terre, maïs et blé.

Mots clés : approche terroirs, Mukike, développement durable, approche participative, gestion durable des ressources naturelles.

Les exploitations minières artisanales au Burundi : une opportunité ou un désastre national?

Midende Gilbert¹

1) Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, B.P. 2700 Bujumbura-Burundi ; midendegilbert@yahoo.com

Déjà en 2006, le document de la Banque Mondiale sur le Burundi intitulé Poverty Reduction Strategy Paper (PRSP, septembre 2006) classait la promotion du secteur de l'extraction minière parmi les domaines d'appui à une croissance économique viable et équitable. Plus spécifiquement, il précise que le Burundi dispose d'atouts substantiels caractérisés par une vaste gamme de dépôts minéraux, et que le secteur de l'exploitation minière offre de bonnes perspectives de diversification des activités économiques qui pourraient générer des effets positifs directs sur la croissance économique, le revenu, l'emploi, et le transfert des technologies. Dans ce cadre une des actions recommandées était la promotion des activités émergentes d'extraction minière artisanale. L'exploitation minière artisanale peut en effet avoir un impact considérable sur l'économie du Burundi, elle contribue déjà à la survie des populations de plus en plus nombreuses, évaluées à plus ou moins 200.000 personnes. Malgré cette importance, force est de reconnaître que ce secteur est encore

loin d'atteindre les résultats escomptés. À l'heure actuelle les artisans miniers travaillent de manière informelle, ce qui engendre des conséquences néfastes considérables sur l'ensemble de l'économie du pays, sur le développement durable des régions concernées et sur l'environnement physique, social et humain : écrémage des gisements ; problèmes de santé, de sécurité et d'hygiène sur les sites ; dégradation des mœurs et problèmes socioculturels, problèmes du travail des enfants et de femmes, impacts désastreux sur l'environnement physique, déforestation et perte de la biodiversité. On manque de ressources financières et de moyens techniques dont souffre le secteur, s'ajoutent les contraintes organisationnelles, législatives et fiscales. Cependant, eu égard à la croissance démographique, à la dégradation et à l'insuffisance des terres cultivables, ces petites exploitations artisanales sont à encourager dans la perspective de lutter contre la pauvreté qui s'accroît constamment au Burundi. Pour cela, il est nécessaire de procéder à la formalisation des EMA. La formalisation des EMA est un long processus qui s'appuie sur l'organisation des EMA et qui commence par la mise en place d'une législation appropriée. Ce processus se réalise à travers des Stratégies en faveur des artisans miniers tel que l'appui technique et la formation, l'amélioration des conditions d'accès au marché, l'amélioration de leurs conditions de vie de manière générale, la protection de l'environnement, la mise en place des mécanismes de collaboration avec les autres programmes et projets envisagés pour le développement local et durable. Pour réussir la formalisation plusieurs défis sont à relever et concernent différents niveaux mais tout particulièrement le gouvernement. Ces défis seront relevés. Pour amener les artisans miniers vers un cadre plus légal et formel il faudra instaurer un véritable climat de collaboration et de confiance. Les différents facteurs qui influent sur la volonté du petit mineur à travailler dans la légalité seront investigués : les facteurs légaux, administratifs, moraux et économiques.

Impacts des pratiques rizicoles en vigueur au Burundi sur l'environnement

Sibomana R.¹, Habonimana B.¹, Bigirimana J.¹, Nusura H.¹

(1) Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Technologies agroalimentaires, Université du Burundi; hnusura@hotmail.com

Le riz est une culture importante pour la sécurité alimentaire du Burundi. Le développement durable des systèmes rizicoles exige le choix des pratiques rizicoles qui préservent l'environnement. Afin de contribuer à l'identification des meilleures pratiques rizicoles, nous avons procédé à une étude des effets des pratiques rizicoles en vigueur au Burundi sur l'environnement. Cette étude a été menée dans 6 périmètres rizicoles en zones de basse et moyenne altitude sur base de données collectées selon différentes méthodes : des observations au niveau des différents périmètres, des réunions avec 6 groupes-cibles de riziculteurs ainsi qu'une enquête auprès de 180 ménages agricoles. Les résultats obtenus ont permis de relever les répercussions de la riziculture sur l'environnement à deux niveaux. Au niveau de l'exploitation des terres, l'introduction et l'extension de la pratique de la riziculture s'est faite au détriment de certaines espèces végétales sauvages. Et tout au long du cycle de la culture de riz, plusieurs risques et dégâts environnementaux peuvent être signalés. Après le labour des parcelles rizicoles, l'érosion est accrue, le risque d'attraper la malaria augmente à cause des pépinières de riz. Le manque de dispositifs adéquats d'irrigation et de drainage provoque des dégâts à l'environnement. Ainsi, dans plus de 50 % des cas, l'eau d'irrigation est insuffisante ou en excès. Par ailleurs, des risques de lessivage des intrants et de transmission des maladies entre les parcelles, et le phénomène de salinisation des terres rizicoles ont été observés. Même si le niveau d'usage des fertilisants et des produits phytosanitaires dans la riziculture est encore trop bas pour provoquer des dégâts visibles, la manière dont ces intrants sont utilisés constitue déjà une menace à l'environnement et la santé humaine : un usage hasardeux, le non respect du moment d'application et de la dose adéquate. La pratique du gardiennage est effectuée sans aucune norme et perturbe l'équilibre des écosystèmes : disparition d'oiseaux insectivores, contamination des eaux et du sol par le poison utilisé contre certaines mammifères. Cependant, certaines pratiques culturales qui ont été observées peuvent constituer un atout important pour la protection de l'environnement : la jachère, la rotation et la prise en compte des précédents culturaux. Une bonne exécution de ces pratiques, un encadrement et d'un soutien aux riziculteurs permettant l'usage adéquat des amendements organiques et inorganiques ainsi qu'une bonne gestion de l'eau, sont des conditions requises pour le développement durable de la riziculture au Burundi

Mots clés : riziculture, environnement, pratiques culturales

POSTERS

Contribution à la connaissance des espèces agroforestières utilisées en milieu rural burundais: cas de la Crête Congo-Nil, de Mumirwa et de la Plaine de l'Imbo

¹R. Muvunyi, ²B. Habonimana et ³J. Bogaert

¹ Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Technologies agroalimentaires, Université du Burundi.

² Faculté des Sciences Agronomiques, Département d'aménagement du milieu et écologie, Université du Burundi.

³ Unité de Biodiversité et Paysage, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech. Passage des Déportés 2, B-5030 Gembloux, Belgique.

Le suivi-évaluation des espèces agroforestières introduites au Burundi demeure inconnues et en conséquence, les espèces retenues et diffusées en milieu rural sont souvent rejetées par les bénéficiaires. Cette étude vise la réalisation d'une liste exhaustive des espèces agroforestières exotiques et autochtones présentes dans la Crête Congo-Nil (le Mumirwa et la plaine de l'Imbo). Une enquête agroforestière menée dans les zones agro-écologiques a été réalisée. Les résultats obtenus ont révélé la présence d'un grand nombre d'espèces agroforestières présentes dans la zone agro-écologique de Mumirwa et de l'Imbo. S'agissant du taux d'adoption des espèces diffusées, les résultats de ce travail ont montré qu'il est de 40% sur la Crête Congo-Nil, 60% dans le Mumirwa et 50% dans la plaine de l'Imbo.

Mots clés : agroforesterie, exploitation agricole, galop démographique, atomisation des terres, fertilité du sol

Ecologie et distribution de *Dialium guineense* dans les phytodistricts Est du Sud-Bénin

Assongba Faustin¹, Djègo G. Julien¹, Yédomonhan Paul², Adomon Aristide²

(1) Laboratoire d'Ecologie Appliquée / FSA/ UAC ; yedjanlognon@yahoo.fr

(2) Herbière Nationale / FAST / UAC

La valorisation des espèces des formations naturelles est aujourd'hui une nécessité pour l'amélioration des conditions de vie des populations rurales et urbaines qui les utilisent. La diversité biologique est aujourd'hui gravement menacée parce que le rythme des extinctions s'accélère considérablement. Les activités humaines sont désormais génératrices de très fortes pressions sur les écosystèmes forestiers et leurs espèces vivantes. Cette étude a pour but de contribuer à l'enrichissement de données sur *Dialium guineense*. Dans les phytodistricts de Pobè et de Zangnanado, des relevés phytosociologiques et dendrométriques ont été faits dans des placeaux de 30 m X 30 m dans les galeries et 100 m X 100 m dans les savanes et forêts denses et semi décidues. La matrice constituée de 173 espèces et 31 relevés ont été soumise à la Detrended Correspondence Analysis (DCA). Trois groupements végétaux ont été discriminés. Il s'agit du Groupe G1 correspondant aux relevés effectués dans les champs et des formations post-culturelles ; Groupe G2 composé des relevés effectués dans les savanes et le groupe G3 formé des relevés effectués au sein de la forêt dense semi décidue et des galeries. L'indice de Shannon varie entre 3,8 et 4, 2 bits alors que l'équitabilité de Pielou est comprise entre 0,66 et 0,7. La densité moyenne des populations de *Dialium guineense* varie entre 35 et 127 arbres / ha. La distribution en classe de diamètre des arbres (Weibull) a montré une structure en J renversé pour les trois groupements végétaux. De cette étude, il ressort que *Dialium guineense* est plus conservé dans les formations végétales protégées que dans les terroirs cultivés et post culturels.

Mots-clés: *Dialium guineense*; Formations végétales; Répartition géographique ; Bénin.

Estimation of shrew diversity: a comparison made between old secondary forest and primary forest in Masako Forest Reserve (Kisangani, DRC).

M. Gambalemoke¹, I. Mukinzi¹, P.G.B. Katuala¹, A. Dudu¹, J. Hulselmans², H. Leirs^{2,3}, R. Hutterer⁴, P. Kaleme⁵, E. Verheyen⁶.

¹ University of Kisangani, Faculty of Sciences (Biology), Laboratory of Ecology and Animal Resources Management (LEGERA), P.O. Box 2012 Kisangani, DR. Congo; sgambalemoke@yahoo.fr

² Evolutionary Ecology Group, Universiteit Antwerpen, Groenenborgerlaan 171, B-2020 Antwerpen, Belgium.

³ Danish Pest Infestation Laboratory, University of Aarhus, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Integrated Pest Management, Skovbrynet 14, DK-2800 Kongens Lyngby, Denmark.

⁴Zoologisches Forschungsinstitut und Museum Alexander Koenig, Adenauerallee 160, D-53113 Bonn, Germany.

⁵Evolutionary Genomics Group, Department of Botany and Zoology, Stellenbosch University, South Africa.

⁶Royal Belgian Institute of Natural Sciences (RBINS), Vertebrate Department, Molecular Laboratory, Vautierstraat 29, Brussels, Belgium.

Comparison is made to check up shrew diversity in two habitats in Masako Forest Reserve as local people are installing their crops. Shrews were captured in primary forest and in old secondary forest by trapping on open transects (200 m long), and in a 1 ha closed area with fence, 45 cm height, 700 m. We combined three types of traps: *Pitfall* [PF], *Victor* [VT] and *Sherman* [SH]. At each station, we set two traps [PF, VT] or [PF, SH], regularly at 5 m from each other. In total, we captured 181 shrews [128 males and 53 females; trapping effort (TE) = 7,376 TN (traps-nights)], grouped into 5 genera, 12 species in old secondary forest. In 1 ha, the relative density was estimated to 2.0% (TE = 5,612 TN, 114 shrews, 12 species), while it was estimated to 3.8% (TE = 1,764 TN, 67 shrews, 11 species) on the open transects. Four species were dominant: *Crocridura ludia* Hollister, 1916 (21.0%), *Paracrocridura schoutedeni* Heim de Balsac, 1956 (18.2%), and *C. denti* Dollman, 1915 (16.6%). In primary forest, we caught 178 shrews [108 males and 53 females; TE = 7,376 TN], grouped into 5 genera, 15 species. In 1 ha, the relative density was estimated to 1.8% (TE = 5,652 TN, 99 shrews, 15 species), while it was estimated to 4.7% (TE = 1,680 TN, 68 shrews, 12 species) on the open transects. Four species were dominant: *C. latona* Hollister, 1916 (20.8%), *C. ludia* Hollister, 1916 (19.7%), *C. denti* Dollman, 1915 (11.2%) and *C. littoralis* Heller, 1910 (10.7%). Although eleven shrew species are common for the primary forest and the old secondary forest, only *Sylvisorex akaibei* I. Mukinzi, R. Hutterer & P. Barriere, 2009, *Crocridura crenata* Brosset, Dubost & Heim de Balsac, 1965, and *C. cf. muricauda* [*C. muricauda* (Miller, 1900)], *C. cf. poensis* [*C. cf. poensis* (Fraser, 1843)], were captured in primary forest. Pitfall are the most efficient traps in collecting shrews (primary forest: 165 shrews, 15 species, TE = 2827.5 NT, TS = 5.8%; old secondary forest: 176 shrews, 12 species, TE = 3251 NT, TS = 5.4%) as compared to Sherman and Victor traps.

Key Words: Diversity, Shrew, Masako Forest Reserve, Kisangani.

Analyse par approche systemique de la gestion des ressources forestieres et minieres au sein de la zone peripherique du parc national de ranomafana (madagascar)

Andriamandimbisoa RAOLIHARIVAO¹, Isaac Roger TCHOUAMO² et Mamy RAKOTOARIJAONA³.

(1) Université de Kinshasa, Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, B. P. 15 373, Kinshasa, République Démocratique du Congo ; and_olyh@yahoo.fr.

(2) Université de Dschang, Faculté d'Agronomie et des Sciences agricoles - Département de vulgarisation agricole et de sociologie rurale, b.p. 35 302, Yaoundé – Cameroun.

(3) Madagascar National Park– Parc National de Ranomafana, BP 02 Ranomafana Centre, Fianarantsoa Madagascar.

Actuellement, la conservation de l'environnement constitue un sujet standard de tout un chacun. Au Sud Est de Madagascar, s'étend de 47°18' à 47°37' de longitude Est de 21°02' à 22°25' de latitude Nord, le Parc National de Ranomafana (PNR). L'*Hapalemur aureus* découvert en 1986 fut la création du Parc. Ce lémurien doré, considéré disparu, a trouvé refuge dans la région et a subsisté jusqu'à maintenant. La commune de Ranomafana et de Kelilalina font partie de la zone périphérique (ZP) du PNR. Parmi ses ressources naturelles, la ZP du PNR est caractérisée par ses ressources forestières et minières. Leur gestion passe par les diverses menaces qui les détériorent jusqu'aux divers acteurs qui cherchent des voies et moyens pour un développement humain durable. Ces deux communes possèdent 27,5% de la masse démographique de la ZP, en 2010, soit 28 324 habitants et ont de densité respective de 87,5% et de 40,5%. L'accroissement démographique évolue depuis la mise en place du parc en 1990. La déforestation augmente avec cette accroissement. Le taux de scolarisation des enfants n'est que de 56,9%, en 2008. Chaque commune possède un centre de santé de base. En longeant la route nationale, de l'Ouest vers l'Est du PNR, d'altitude 1300m à 600m, l'aménagement des territoires se dégradent. Actuellement, l'exploitation aurifère artisanale autour de la ZP est en vogue, surtout dans la commune de Kelilalina. En un an, 50 ha ont été détruits (BD PNR, 2010). Les immigrants l'accroissent. Les ressources réclament alors une gestion rationnelle et participative. Cette gestion participative demande l'apport de toutes les parties prenantes. Ainsi, des enquêtes ont été réalisées. Les parties prenantes identifiées sont les sociétés civiles et les institutions étatiques. Leurs rôles sont décrits, du gardien de proximité à la constitution des lois et textes pour la gestion de ces ressources. 50% de la population locale ont reçu les lois et textes et en comprennent une partie. Ils perçoivent que ces ressources leur appartiennent entièrement. Le niveau de connaissances des textes et lois régissant la gestion de ces ressources reste très bas. Les autorités administratives au niveau supérieur les maîtrisent. Les conflits se créent tant sur le fonctionnement et l'interrelation des parties prenantes que sur la prise de décision. En général, les résolutions sont soit à l'amiable, soit par application de la loi coutumière. Les lois et textes existent.

Mots clés : ressources forestières, ressources minières, gestion participative, parties prenantes, aire protégée, conflits, Parc National de Ranomafana.

La gestion durable de la biodiversité des aires protégées : rôles des parties prenantes, défis et pistes des solutions : cas du Parc National de Kkahuzi-Biega à l'est de la RDCongo.

Baleke Rukumuza Elie¹

(1) Expert en Conservation Biodiversité à la C.E.E.A.C. ; mvbantu@yahoo.fr

Le Parc National de Kahuzi-Biega (PNKB), site du patrimoine mondial de l'UNESCO est localisé en Afrique centrale, à l'Est de la République Démocratique du Congo, en province du Sud-Kivu. Vaste de 600.000 hectares et très riche en biodiversité (194 espèces de mammifères, avec des espèces phares comme les Gorilles, Chimpanzés, Eléphants). Cet article est rédigé sous-forme d'un rapport qui constitue un ensemble d'expériences et des leçons tirées du travail personnel pour plus de huit (ans) dans des organisations internationales de la conservation de la nature (WWF, GTZ, FFI, PACEBCo) et auprès du service étatique en charge de la gestion des Aires Protégées, l'Institut Congolais pour la Conservation de la Nature (ICCN) en RDCongo. Une analyse objective des rôles de ces parties prenantes et des propositions concrètes dans l'accomplissement des rôles de ces derniers permettra à chacune d'entre elles de contribuer de manière significative à la préservation de la biodiversité de ces Aires Protégées. Les propositions concrètes seront fournies à l'égard de toutes parties prenantes afin qu'il y ait une appropriation globale à divers niveaux de la conservation de la biodiversité.

Les savoirs traditionnels et leur rôle dans la conservation des forêts

Jean-Marie Bantu Baluge¹

(1) Bureau d'Etudes Scientifiques Techniques (B.E.S.T.) Bukavu, R.D. Cong ; jmvbantu2002@yahoo.fr

Les savoirs traditionnels ont permis de conserver, depuis des siècles, les forêts. Aujourd'hui, nous connaissons un taux élevé de déforestation et de dégradation des forêts avec comme conséquence l'émission des gaz à effet de serre. Toutes les stratégies qui favorisent le maintien et le rétablissement des couverts forestiers sont à encourager. L'une de ces stratégies réside dans « les savoirs traditionnels et endogènes » qui ont fait leurs preuves depuis les temps immémoriaux. Il n'est pas de doute que les connaissances traditionnelles sont antérieures aux politiques et projets de conservation. En effet, c'est seulement en 1872 qu'a été créé le premier Parc, le « Yellowstone national Park » aux Etats-Unis. Dans les processus qui ont conduit à la création des aires protégées actuelles, les connaissances traditionnelles ont joué et continuent à jouer beaucoup de rôles. Le rôle majeur joué par les savoirs traditionnels est celui de source d'information. Seules les autochtones détiennent l'information sur le mode d'extraction des ressources, la gestion de la faune et l'utilisation des terres. Le rôle de nommer et de classer les espèces : les savoirs traditionnels permettent de faire des distinctions intraspécifiques extrêmement fines sur la base de l'âge, du sexe, des variations saisonnières, du comportement, qui se traduisent eux aussi par un vocabulaire spécifique. Le rôle d'immortaliser les espèces : dans certaines Cultures (cas des Indiens Cris, des Inuits et des peuples circumpolaires), il y a des pratiques respectueuses qui permettent que l'âme de l'animal puisse se réincarner pour se représenter de nouveau au chasseur qui bénéficiera une fois de plus de ce don de nourriture. Les connaissances traditionnelles servent aussi de guide à la prise de décision : les remèdes et pratiques médicinales, les connaissances relatives à la diversité biologique et aux ressources phylogénétiques destinées à l'alimentation et à l'agriculture servent d'appui à l'autorité pour délimiter les zones à protéger. Les connaissances traditionnelles facilitent aussi la compréhension et la communication entre les agents de développement. Au regard de tous ces rôles, il est recommandé de prendre en compte les connaissances traditionnelles à tous les niveaux et pour toute question qui engage non seulement les forêts, mais aussi les droits des populations forestière, entendu par là les communautés locales et les autochtones pygmées.

Dégradation des grottes aux poissons aveugles (*Caecobarbus geertsii*, Teleostei Cyprinidae) dans la région de Mbanza-Ngungu en R.D.Congo et proposition de création d'une aire protégée

Alexis Kimbembi ma Ibaka¹

(1) I.S.P.Mbanza-Ngungu, République Démocratique du Congo ; alexiskimbembi@yahoo.fr

D'après Heuts et Leleups (1954), dans la province du Bas-Congo, il doit exister quelques trois cents grottes dont 47 avaient été prospectées. De ce nombre, *Caecobarbus geertsii* Blgr, 1921 a été trouvée dans huit grottes des environs de

Mbanza-Ngungu, dont deux, suite aux activités anthropiques ont disparu (Kimbembi, 2007). *Caecobarbus geertsii* est l'unique espèce de poisson endémique protégée en R.D.Congo (Pellegren, 1926 et Poll, 1951 et 1957); inscrite dans l'annexe CITES (MECNPT, 1998) et classée d'espèce vulnérable par l'UICN (Lévêque et Daget, 1984). Par la méthode de gestion des réserves de biosphère préconisée par Bioret et *al.* (1998) et par l'approche systémique avec ses principes fondamentaux et ses lois ainsi que les principes du développement rural intégré (Maldague et *al.*, 1997), Kimbembi (*op.cit.*) révéla non seulement la dégradation de ces écosystèmes souterrains mais aussi la découverte de nouveaux sites à *Caecobarbus geertsii* dans la même région. Suite aux pressions humaines qui pèsent sur ce patrimoine, la conservation de cette biodiversité cavernicole exceptionnelle peut être possible en proposant l'inscription de ces grottes sur la liste des biens du patrimoine mondial ou sur la liste de biosphère du programme MAB.

Importance Socioculturelle et distribution de *Dialium guineense* dans la Forêt classée de Wari-Marô

Assongba Y., Faustin, Djégo G. Julien., Bio Anselme., Sinsin Brice.

Laboratoire d'Ecologie Appliquée (LEA) / FSA/ UAC ; yedjanlognon@yahoo.fr

Les ressources naturelles sont d'une importance capitale dans la vie de l'homme. Dans ce cadre, une étude a été menée sur l'importance socioculturelle et la distribution de *Dialium guineense* dans la forêt classée de Wari-Marô au centre du Bénin. La démarche méthodologique appliquée à ce travail a consisté à l'enquête ethnobotanique dans les villages riverains et aux relevés floristiques à l'intérieur de la forêt. Au total, 100 personnes ont été interviewées et 65 placeaux ont été installés. Les résultats de l'étude ont montré que l'espèce est globalement peu connue dans la région. Cependant, elle est utilisée dans l'alimentation, la construction et le traitement des maladies telles que le paludisme et la fatigue générale. Sur les 65 placeaux installés, 51 espèces réparties en 24 familles ont été identifiées et trois groupements végétaux ont été discriminés. Les analyses ont prouvé que tous ces groupements sont spécifiquement diversifiés avec absence de dominance. Néanmoins, l'espèce recherchée est absente dans le groupement (G3) constitué uniquement des placeaux installés dans la savane. Les structures horizontale et verticale de *Dialium guineense* ont présenté partout une asymétrie gauche caractéristique des peuplements jeunes ou composés d'individus de faibles diamètres. Cette situation aurait dû à des menaces que subit l'espèce malgré qu'elle se retrouve dans un domaine classé. Pour une gestion durable de cette espèce dont la répartition est très localisée dans la forêt classée de Wari-Marô, il importe d'adopter des stratégies qui tiennent compte des besoins socio- économiques et culturels du milieu.

Mots clés : *Dialium guineense*, espèce, savane, structures horizontale et verticale, menaces, stratégies

Diminution des ressources en eau, une conséquence à la variabilité climatique ? Étude basée sur une approche participative : cas du département de Bambey (Sénégal)

Yanon Galinéi ⁽¹⁾ & Ndiaye Aminataï ⁽²⁾

(1) Département de Géographie, Edethos, FLSH- Université Cheikh Anta Diop, B.P. 5005, Dakar-Fann, Sénégal ; galileo.galine@hotmail.com.

(2) Département de Géographie, Laboratoire de Climatologie, FLSH- Université Cheikh Anta Diop, B.P. 5005, Dakar-Fann, Sénégal.

L'évolution des variables climatiques pose aujourd'hui la question de la régularité, dans la distribution des apports pluviométriques inter-annuels. Il faut, toutefois, noter que cette évolution décadente de la pluviométrie entraîne de nombreuses conséquences et dont la mesure se fait, de plus en plus, à une échelle locale. L'analyse des données de pluviométrie, sur la période 1947 – 2010 dans le département de Bambey (centre du Sénégal), permet de constater une mal distribution, à l'échelle spatio-temporelle, des apports en eau. Dès lors, il est apparu des déficits énormes d'eaux, et ce surtout à partir des années 1960s avec un point de changement de moyenne noté en 1967, une moyenne pluviométrique de 678,5 mm entre 1953-1967 contre une moyenne de 1050,5 mm sur la période 1950-1952. Ces déficits ou encore réduction des apports (significative à 95 %, p-value = 0.00086813), conduisent dans bien des cas, à une situation de déséquilibre voir de disparition de réserves notamment ici les puits, les mares et les marigots. Il faut ajouter que cette situation constatée de stress est bien perçue par la population locale qui manifeste, présentement, son incapacité à définition des mesures fiables d'adaptation.

Mots clés : Diminution, ressources en eau, variabilité climatique, approche participative

Mise en place d'un processus participatif dans l'élaboration d'un plan simple d'aménagement des forêts dégradées à la périphérie de Kinshasa: cas de Kinkosi au Bas Congo

Isaac Nshokano Byamungu

Programme Biodiversité et Forêts/Gestion Durable des Forêts, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Eschborn, PBF/GIZ, ville de Bukavu, sud Kivu, République Démocratique du Congo ; nshokanoisaac@yahoo.fr

La présente étude portant sur l'élaboration du plan simple de gestion à vocation bois énergie du finage de Kinkosi au Bas Congo, s'est déroulé de décembre 2011 à mars 2012. Les objectifs de l'étude étaient les suivants : définir une gestion opérationnelle basée sur une approche paysagère et sur la toponymie locale des populations, organiser l'utilisation spatiale à travers les différents systèmes de production, dans le respect des équilibres naturels en prenant en compte le savoir-faire local, co-élaborer un plan simple de gestion à vocation de production de bois énergie du finage villageois pour la satisfaction des besoins de la population locale; procéder à un diagnostic socio-économique et culturel de la communauté. La démarche participative a guidé la totalité de nos activités de recherche. Les résultats obtenus ont révélé que la majorité de la population dépend entièrement de l'exploitation des ressources naturelles (97 %), l'agriculture et la production de bois énergie sont les deux principales activités sources de revenus à la population de Kinkosi. Une surexploitation des ressources naturelles a été constatée et la pauvreté de la population serait justifiée par la rareté de celle-ci. Le volume de bois exploité pour le bois énergie serait de 1154,2 m³ avec un écart type très élevé (41, 5) proche de la moyenne (voir chapitre 3). La méthodologie d'élaboration du PSG était fondée sur la typologie locale de l'espace et l'identification des unités paysagères (chapitre 2). Ainsi, douze unités paysagères ont été définies, six mesures de gestions retenues, les règles de partage de bénéfices fixées et les sanctions aux infractions qui seraient constatées lors de la mise en œuvre du plan simple de gestion (voir chapitre 3) ont été choisies.

Mots clés : *Plan simple de gestion, bois énergie, ressources naturelles, approche participative, unité paysagère, province du Bas-Congo.*

Co-digestion anaérobie des boues de vidange des fosses septiques et des déchets de marché fermentescibles en vue de leur valorisation: Cas du Burundi

Nsavyimana Gaston^{1,2,*}, Bigumandondera Patrice^{1,3}, Ndikumana Théophile² & Vasel Jean Luc¹

(1) Université de Liège, Département des Sciences et Gestion de l'environnement (DSGE). Unité Assainissement et Environnement. 185 Avenue de Longwy, 6700Arlon, Belgique ; gnsavyimana@student.ulg.ac.be ou gnsavyi@yahoo.fr

(2) Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Chimie, B.P.2700 Bujumbura- Burundi.

(3) Université du Burundi, Institut de Pédagogie Appliquée, Département de Chimie, B.P.5223 Bujumbura- Burundi.

L'assainissement des eaux usées domestiques dans les villes africaines en général et dans les villes burundaises en particulier, se fait presque exclusivement par les techniques d'assainissement individuel, notamment les fosses septiques (*F.S*). Par ailleurs, la gestion des boues de vidange des *F.S*, lorsqu'elles sont remplies constitue aussi un problème qui n'a pas encore trouvé une solution adéquate. Ces déchets sont généralement déversés sans aucun contrôle (lieux, manutentions), ce qui occasionne des risques sérieux pour la santé de la population (maladies d'origine hydrique, paludisme, etc.) et pour l'environnement (odeurs, pollution des nappes et eaux de surface, esthétique de la ville, etc.). Une optimisation de leur gestion s'avère donc plus que nécessaire. En plus de la problématique de gestion de ces derniers, les déchets de marché sont aussi produits quotidiennement en quantité importante et constituent aussi une problématique quant à leur gestion. La caractérisation la plus approfondie possible de ces déchets a constitué une étape clé de notre recherche quant à l'orientation sur l'étude de leur valorisation. Quelques ratios par rapport à certains paramètres de pollution (cas des boues de vidange), permettant de s'orienter à telle ou telle autre filière de leur valorisation ont été calculés sur base des valeurs expérimentales. Il s'agit de: MVS/MES , DBO_{brute} / MVS , DCO_s/MVS , DCO_{part}/DCO_{brute} , $DBO_5_{part}/DBO_5_{brute}$, DCO_{brute}/DBO_{brute} , DCO_{part}/MES , DBO_5_{part}/MES , DCO_s/SO_4^{2-} , $N-NH_4^+/DCO_{brute}$, $N-NH_4^+/DCO_s$, $N-NH_4^+/N_{Total}$. Au regard des résultats sur la caractérisation, une hypothèse sur l'investigation par rapport à la modélisation de production de biogaz à partir des boues de vidange des *F.S* a été formulée et exécutée. Les résultats nous ont montré une faible production de biogaz d'environ 1,71 m³ biogaz/m³ de boues de vidange *F.S* après 2 mois de digestion. Seuls 12,33% de DCO_{brute} ont été éliminés et de cette DCO_{brute} éliminée, 97% est transférée en CH_4 . Le taux de production de CH_4 est évalué à 0,37 m³ CH_4 / kg DCO_{brute} éliminé. Le biogaz produit a montré une composition en CH_4 de 77 % contre 23 % de CO_2 . La combinaison des résultats sur la caractérisation approfondie des boues de vidange et la modélisation de production de biogaz à partir de ces dernières nous prouvent que les boues de vidange des *F.S* sont presque stabilisées et que l'habitude de les verser dans la station type lagunage naturelle existante est à décourager.

Par contre, elles contiennent beaucoup plus de biomasse (anaérobie) épuratrice que le substrat, ce qui nous a permis de formuler une autre hypothèse sur l'investigation par rapport à la Codigestion anaérobie de ces boues de vidange avec les déchets solides de marché fermentescibles. Que ce soit pour les boues de vidange des fosses septiques ou les déchets de marché fermentescibles, des échantillons représentatifs ont été utilisés. Sachant que les boues de vidange constituent une bonne source de biomasse et que les déchets de marché fermentescibles constituent leur source de nourriture, un critère « rapport: $MVS_{F.S.}/MOV_{déchets}$ » qui n'est rien d'autre que le rapport biomasse-substrat a été fixé pour évaluer de manière quantitative l'intérêt de leur co-digestion. Cinq scénarii ont été formulés : $MVS_{F.S.}/MOV_{déchets} = 0,3$; $MVS_{F.S.}/MOV_{déchets} = 0,5$; $MVS_{F.S.}/MOV_{déchets} = 1$; $MVS_{F.S.}/MOV_{déchets} = 1,5$; $MVS_{F.S.}/MOV_{déchets} = 2$. Le meilleur scénario ($MVS_{F.S.}/MOV_{déchets} = 0,3$) a permis une amélioration de rendement de 737% de production de biogaz par rapport à la digestion des boues de vidange seules, soit 12,6 m³ biogaz/m³ de mélange gadoues-déchets après 38 jours de digestion. Cependant, par rapport à la composition de biogaz produit, une diminution de pouvoir énergétique a été observée car le CH₄ y est à 66,5% pour 33,5% de CO₂. Le rapport $MVS_{F.S.}/MOV_{déchets} \leq 0,3$ a été donc considéré optimal pour une bonne gestion de ces déchets de nature diverse. Il permet aussi d'apporter une valeur ajoutée quant à la solution au problème de crise énergétique qui est aussi de grande envergure au Burundi. En définitive, cette recherche démontre que les déchets (boues de vidange des F.S et déchets de marché fermentescibles) peuvent être considérés comme une ressource et non comme un problème. Leur co-traitement permettrait, tout en réduisant les nuisances associées à ces déchets, de produire une énergie valorisable et de fournir in fine un produit compostable de meilleure qualité.

Vers une meilleure compréhension de l'assainissement non collectif en Afrique Subsaharienne intégrant les trois maillons de la chaîne: Application à la ville de Bujumbura

Bigumandondera Patrice 1,2*; Nsavyimana Gaston 1,3; Ndikumana Théophile 3 & Vasel Jean Luc 1

- (1) Université de Liège, Département des Sciences et Gestion de l'environnement (DSGE). Unité Assainissement et Environnement. 185 Avenue de Longwy, 6700Arlon, Belgique bigumandonderape@yahoo.fr
- (2) Université du Burundi, Institut de Pédagogie Appliquée, Département de Chimie, B.P.5223 Bujumbura- Burundi.
- (3) Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Chimie, B.P.2700 Bujumbura- Burundi.

*Adresse de correspondance : Bigumandondera Patrice ¹.

Une étude par enquête intégrant l'assainissement non collectif (ANC) dans toutes ses composantes (c'est-à-dire trois maillons de la filière: amont, intermédiaire et aval) a été menée en ville de Bujumbura capitale du Burundi. L'enquête a concerné quatre des huit communes utilisant l'ANC (Kinindo, Musaga, Cibitoke et Kinama). Les critères d'échantillonnage ont été le standing de l'habitat ainsi que la distance entre la commune en question et le site de dépotage des boues de vidange. Un total de 585 ménages a été enquêté. Les informations recueillies ont été encodées et stockées dans une base de données Access afin de faciliter l'exploitation. L'analyse des données d'enquête a été faite par un logiciel Statistica et la méthodologie consistant à définir une variable d'intérêt en l'occurrence l'ouvrage d'ANC. Les résultats issus des enquêtes montrent dans Kinama et Cibitoke une prédominance de la latrine traditionnelle (LT) comme ouvrage d'ANC tandis que la fosse septique (FS) prédomine dans Musaga et Kinindo. L'analyse factorielle de correspondance appliquée à nos données montre que d'un côté, les ménages qui utilisent la FS possèdent l'eau de la Regideso à la parcelle, l'habitat est majoritairement de haut standing ou de moyen standing et la vidange des boues se fait par camion spécialisé avec dépotage en station d'épuration et de l'autre côté celles qui utilisent la LT s'approvisionnent en eau par fontaine publique, l'habitat est majoritairement de bas standing et quand la latrine est pleine, ils réalisent une autre fosse ou vidangent les boues manuellement avec dépotage clandestin. La gestion des eaux usées domestiques (eaux grises) est presque identique pour tous les ouvrages et consiste en un déversement dans les caniveaux sans aucun traitement préalable. A la lumière des résultats, il ressort que la catégorie sociale et le type d'approvisionnement en eau sont déterminants pour le choix du système d'ANC adopté par le ménage.

La gestion de l'assainissement: un grand défi environnemental, social et institutionnel: cas d'un projet intégré en zone périurbaine de Bujumbura, Burundi

Myriam Launay¹, Benoit Michaux² et Mélanie Cuvelier³

- (1) Myriam Launay, Master en Ingénierie des Services Urbains en Réseaux dans les Pays en Développement, Responsable des programmes PAD au Burundi; pad.burundi@hotmail.com
- (2) Benoit Michaux, Ingénieur Civil, Président de PAD,
- (3) Mélanie Cuvelier, Ingénieur Agronome, Coordinatrice d'activités PAD

Dans la région des grands lacs d'Afrique, la production de déchets solides, organiques et fécaux est en constante augmentation et a un impact de plus en plus marqué sur le niveau d'hygiène et sur l'environnement de vie des populations, et plus particulièrement des populations périurbaines.

La mise en place de stratégies spécifiques permettant d'envisager l'amélioration de l'environnement sanitaire doit adopter un ensemble d'approches intégrées prenant en compte la chaîne complète de la filière des déchets et impliquant les différents niveaux de la structure sociale. Dans ce sens le projet PAD/OPDE mené auprès des populations rurales et périurbaines de la commune de Mutimbuzi (province de Bujumbura rural) illustre la mise en œuvre d'une méthodologie intégrée reposant sur plusieurs approches: la formation des communautés à la construction et à l'utilisation de latrines ecosan et autres dispositifs sanitaires via une méthode d'approche participative ; la création et la formation de Comités Hygiène et Assainissement appuyant les familles dans leurs changements de comportement et dans la réalisation des infrastructures ; la mise en place de cellules de concertation au niveau communal ayant pour mission l'identification des besoins des populations ainsi que des règlements et plans d'aménagement nécessaires pour garantir le droit à l'eau, à l'hygiène et à l'assainissement de toute la population de la commune ; la mise en place d'un comité de surveillance ayant pour mission d'assurer la mise en place et le respect des règlements et plans de gestion communaux.

La gestion des déchets dans la ville de Bukavu : quantité, qualités et risques pour l'environnement

J.M. Walangululu, I.M. Balume, H.C. Mushagalusa et J.M. Birali

Faculté des Sciences agronomiques de l'Université Catholique de Bukavu, RD Congo. B.P.2 Cyangugu, Rwanda ; walangululu@yahoo.fr

A l'instar des autres villes de la République Démocratique du Congo, la ville de Bukavu, à l'est de la République, connaît aussi des problèmes liés au ramassage et traitement des déchets, alors que la consommation accrue caractérise sa population, produisant d'énormes quantités de déchets. L'importance des déchets dans la ville de Bukavu est telle que certaines structures existant dans la ville se sont penchées sur la question depuis 2003. La présente communication passe en revue les initiatives qui ont été entreprises en matière de gestion, depuis la quantification des déchets de différents marchés évacués vers les sites de décharge en passant par les structures intervenant dans la gestion des ces déchets, jusqu'à la valorisation de la partie biodégradable, sans oublier les risques auxquels sont exposés les utilisateurs de la fraction biodégradable et les risques pour l'environnement.

Mots clés : déchets, pollution, métaux lourds, Bukavu.

Coliform and Metal Contamination water at Kaliba Recreational Bay, Lake Kivu, eastern of D R Congo

Théodore MUNYULI ^{1,2*} & Pascal TETE ²

¹ Department of Biology, National Center for Research in Natural Sciences, CRSN-Lwiro, D.S.Bukavu, Democratic Republic of Congo; tmnyuli@yahoo.com

² Department of environment, National Center for Research in Natural Sciences, CRSN-Lwiro, D.S.Bukavu, Democratic Republic of Congo,.

Kaliba bay on Left side of the Lake Kivu is located at about 55 km from Bukavu Town in eastern DR Congo. The place is used some times as a recreational site particularly during rainy dry high. The objective of this study was to quantify coliform and heavy metal levels in this bay water before during dry and rainy seasons in 2011. Twenty two sampling points were randomly selected and two water samples were collected at each point near the surface (0.30 m) and at 1 m depth across rainy and dry season. Therefore, a total 80 water samples were analyzed for fecal and total coliforms and levels of the following metals: Al, As, B, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Se, Si and Zn. It was hypothesized that domestic tourism contaminated this Lake water at the bay site and as a consequence, could have a negative impact on visitor health. An analysis of variance (ANOVA) study was performed for each element and its interactions considering a factorial design where factor A was sample date and factor B was sample depth. Fecal coliforms were only detected at eight sampling points in the first week, but during dry seasons, both fecal and total coliforms were detected at most sampling points. The concentrations of Al, B, Na, Ni and Se were only statistically different for factor A. The levels of Cr, Cu, K and Mg were different for both date and depth, but the dual factor interaction was not significant. The amount of Ca and Zn was statistically different due to date, depth and their interaction. No significant differences were found for any factor or the interaction for the elements as, Fe and Mn. Because of the consistent results, it is concluded that local tourism (recreational activity) is contaminating the recreational area of Kaliba Bay on Lake Kivu, eastern DRC

Keywords: Heavy metals, Pollution, Bay, Recreational areas, eastern DR Congo

Spatial Variations of Heavy Metals in the Soils of Vegetable-Growing Land along Urban-Rural Gradient of Bukavu, eastern of D R Congo

Théodore MUNYULI ^{1,2*} and Pascal TETE ²

¹ Department of Biology, National Center for Research in Natural Sciences, CRSN-Lwiro, D.S.Bukavu, Democratic Republic of Congo; tmnyuli@yahoo.com, tmnyuli@gmail.com

² Department of environment, National Center for Research in Natural Sciences, CRSN-Lwiro, D.S.Bukavu, Democratic Republic of Congo.

This study concentrated on the variation of heavy metal content due to urbanization in the vegetable-growing soil around Bukavu town. Laws and other causes of the spatial-temporal variation in heavy metal content of vegetable-growing soils were analyzed for the period of urbanization in Bukavu Town (since colonial time). The levels of Cu, Zn, Pb, Cd and Hg in samples of vegetable-growing soil were detected. The transverse, vertical spatio-temporal variation of heavy metals in soil was analyzed on the base of field investigations and laboratory analysis. The results show that: (1) in soil used for vegetable production, the levels of heavy metals decreased gradually from peri-urban to rural areas; the levels of the main heavy metals in urban areas are significantly higher than sub-urban and rural areas; (2) the means of the levels of heavy metals, calculated by subtracting the sublayer (15–30 cm) from the toplayer (0–15 cm), are all above zero and large in absolute value in urban areas, but in suburban and rural areas, the means are all above or below zero and small in absolute value. The causes of spatial and temporal variation were analyzed as follows: one cause was associated with mellowness of the soil and the length of time the soil had been used for production; the other cause was associated with population density and industrial intensity decreasing along the urban to rural gradient (i.e., urbanization levels can explain the distribution of heavy metals in soil to some extent). Land uses should be planned on the basis of heavy metal pollution in soil, especially in urban and suburban regions. Heavily polluted soils have to be expected from food production. Further investigation should be done to determine whether and what kind of agricultural production could be established near urban and peri-urban hilly centers in DR Congo.

Keywords: *Urbanization, Heavy metal, Soil, spatio-temporal distribution, peri-urban environments, eastern DR Congo*

Microbiological evaluation of water quality from Peri-urban watersheds for domestic water Supply Improvement in eastern of Democratic Republic of Congo

Théodore MUNYULI ^{1,2*}, Justin-Pascal Byenda BALEGAMIRE ² and Pascal TETE ³

¹ Department of Biology, National Center for Research in Natural Sciences, CRSN-Lwiro, D.S.Bukavu, Democratic Republic of Congo; tmnyuli@yahoo.com

² Centre de recherche pour la promotion de la santé, Département de santé publique, Institut Supérieur des Techniques Médicales, ISTM-Bukavu, République Démocratique du Congo.

³ Department of environment, National Center for Research in Natural Sciences, CRSN-Lwiro, D.S.Bukavu, Democratic Republic of Congo.

Agricultural and urban runoffs may be major sources of pollution of water bodies and major sources of bacteria affecting the quality of drinking water. Of the different pathways by which bacterial pathogens can enter drinking water, this one has received little attention to date; that is, because soils are often considered to be near perfect filters for the transport of bacterial pathogens through the subsoil to groundwater. The goals of this study were to determine the distribution, diversity, and antimicrobial resistance of pathogenic *Escherichia coli* isolates from low flowing river water and sediment with inputs from different sources before water is discharged into ground water and to compare microbial contamination in water and sediment at different sampling sites. Water and sediment samples were collected from 19 locations throughout the River Nyabarongo watershed for the isolation of pathogenic *E.coli*. Heterotrophic plate counts and *E. coli* were also determined after running tertiary treated water (from gravity water supplies) through two tanks containing aquifer sand material. Presumptive pathogenic *E.coli* isolates were obtained and characterized for virulent factors and antimicrobial resistance. None of the isolates was confirmed as *Shiga toxin E.coli* (STEC), but as others, such as enterotoxigenic *E. coli* (ETEC) were confirmed. There was a diversity of *E.coli* populations from different sources throughout the watershed. Seventy six percent of the isolates from urban sources exhibited resistance to more than one antimicrobial agent. A subsequent filtration experiment after water has gone through filtration tanks containing aquifer sand material showed that there was a 1 to 2 log reduction in *E. coli* in aquifer sand tank. The data showed multiple strains of *E. coli* without virulence attributes, but with high distribution of resistant phenotypes. Therefore, the occurrence of *E. coli* with multiple resistances in the environment is a matter of great concern due to possible transfer of resistant genes from nonpathogenic to pathogenic strains that may result in increased duration and severity of morbidity.

Keywords: *Pathogenic Escherichia coli, indicator bacteria, surface water, sediment, contamination, watershed, Eastern DR Congo*

PROGRAMME

Jeudi, 8 novembre 2012 : Environnement, Urbanisation et Ruralité dans la région des Grands Lacs d'Afrique : Quels défis? Quelles solutions?»

Sous-Thème 1: Paysage et environnement terrestre

8h00- 8h30	Accueil et installation des participants par le Comité d'organisation
8h30-8h40	Présentation du programme par le Professeur Ndikumana Théophile (Président).
8h40-8h55	Discours d'accueil par le Recteur de l'Université du Burundi
8h55-9h10	Discours d'ouverture par Son excellence le Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
9h10-9h20	Master complémentaire en Sciences de l'Environnement à l'UB: Bilan et Perspectives par le Professeur Ntakarutimana Vestine
9h20 – 9h40	Pause –café & photo de groupe
9h40-10h00	Menaces environnementales au Burundi, leur nature, leur ampleur par Dr. Bigendako Marie Josée (Université du Burundi)
10h00-10h 25	Etat actuel de la diversité floristique du Burundi et perspectives d'avenir (Burundi) par Prof. Mpawenayo Balthazar (Université du Burundi)
10h 25 -10h45	Facteurs de dégradation du milieu naturel et stratégies de restauration en territoires d'Uvira et de Fizi, République Démocratique du Congo par Dr Masumbuko Céphas Ndabaga (RDCongo)
11h30 - 11H50	Pression foncière face à la croissance démographique : cas de la province de Kirundo au Nord du Burundi par Mr. Minani Bonaventure (Université de Ngozi).
11h50 – 12h10	Outil d'évaluation et de gestion des risques afférents aux rivières qui traversent la ville de Bujumbura : Cas de la rivière Ntahangwa par Mr. Nibigira Léonidas (Université de Liège, Belgique)
12h10 – 12h30	Conservation et gestion durable de la biodiversité du Parc National de la Ruvubu (Burundi) : contexte, contraintes et axes de suivi par Dr. Tatien MASHARABU
12h30 – 13h00	Discussion
13h 00-14h30	Repas de midi

Sous-Thème 2: Environnement aquatique

14h 30-14h50	Contribution to the identification of resources and the planning of swamps of Burundi: Case of swamps of River Mubarazi watershed par Niyungeko Alexis (Université du Burundi).
14h 50-15h10	Preliminary fish diversity assessment of Lowa River Eastern of Republic Democratic of the Congo par Kisekelwa T. (République Démocratique du Congo).
15h10 – 15h30	Effects of water quality in Nyabarongo River on Clarias sp fish communities par Munyuri Théodore (République Démocratique du Congo).
15h30 – 16h 00	Pause –café + section posters
16h 00-16h30	Discussions
16h 30	Fin de la première Journée

Vendredi, 9 novembre 2012 : Environnement, Urbanisation et Ruralité dans la région des Grands Lacs d'Afrique : Quels défis? Quelles solutions?

8h30- 9h15 : Présentation des rapporteurs (Synthèse de la première journée) + Echanges

Sous-Thème 3: Prévention et Remediation des Pollutions

9h15-9h35	Voies de traitements des déchets solides: valorisation matière et énergie par Prof. Gisèle JUNG (Université Libre de Bruxelles)
9h40-10h 00	Application d'un modèle simple de la digestion anaérobie incluant la sulfato-réduction et la sulfo-oxydation au lagunage anaérobie par Dr Harerimana Casimir
10h00- 10h 20	Discussions
10h 20-10h 40	Pause-café
11h 40-11h 00	Impact des collecteurs d'eaux pluviales sur la baie Nord-est du Lac Tanganyika par Prof. Ndikumana Théophile
11h 05-11h25	Bujumbura, ses consommations et ses déchets: illustration par un film documentaire par Mme Mizero Mireille
11h 30-12h00	Discussions
12h 00-13h00	Visite et présentation des Posters
13h 00-14h00	Repas de midi

Sous-Thème 4: Sujets transversaux

14h 00-14h20	Evaluation des impacts économiques du changement climatique au Burundi par Prof. Sabushimike Jean Marie (Université du Burundi)
14h 20-14h40	Potentiel des insectes comestibles dans l'amélioration de la sécurité alimentaire et adaptation aux changements climatiques par Dr NDIMUBANDI JEAN (Université du Burundi)
14h 40-15h00	Economic valuation of irrigation water in smallholder farming system in Rwanda: the case of Kibaya-cyunuzi scheme par Mme URUJENI Sandrine (Rwanda)
15h 00-15h45	Discussions
15h 45-16h10	Pause-café
16h10 – 16h 30	Plaidoyer de l'approche terroir comme méthode de développement rural : Etude de cas par Prof. Lejoly J. (Université Libre de Bruxelles)
16h 30-16h50	Les exploitations minières artisanales au Burundi. Une opportunité ou un désastre national? Par Prof. Midende Gilbert (Université du Burundi)
16h 55-17h15	Impact des pratiques rizicoles sur l'environnement par Dr Nusura H. (Université du Burundi)
17h 15-17h35	Discussions
17h 35 – 18h00	Rapport général du colloque et recommandations
18h 00	Clôture du colloque

Samedi, 10 novembre 2012 : Environnement, Urbanisation et Ruralité dans la région des Grands Lacs d'Afrique : Quels défis? Quelles solutions?

8 h00	Rencontre Faculté des Sciences pour une Excursion Itinéraire : Visites Baie nord est du lac, eau thermale de Mugara (Forêt claire de Rumonge)
8 h30	Départ
13H00	Escale à BlueBay
15h00	Départ de BlueBay

CONTRIBUTEURS AU COLLOQUE

Nom & prénom	Institution d'origine	Adresse électronique
Assongba F.	Laboratoire d'Ecologie Appliquée, Université d'Abomey- Calavi, Benin	yedjanlognon@yahoo.fr
Baleke Rukumuza E	Expert en Conservation Biodiversité à la C.E.E.A.C., R. D. Congo	eliebalekeruk@yahoo.fr
Dr Bangirimana F.	Ecole Normale Supérieure (ENS), BP 6983, Bujumbura, Burundi	bangifre2003@yahoo.fr
Bantu Baluge J-M.	Bureau d'Etudes Scientifiques Techniques (B.E.S.T.), Bukavu, R.D. Congo	mvbantu2002@yahoo.fr
Dr Bigendako M.J.	Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Biologie	jbigendako@yahoo.fr
Bigumandondera P.	Université du Burundi, Institut de Pédagogie Appliquée, Département de Chimie, B.P.5223 Bujumbura- Burundi	bigumandonderape@yahoo.fr
Prof. Bizuru E.	Université Nationale du Rwanda, Faculté des Sciences, Département de Biologie, B.P. 117 Butare-Rwanda	ebisous@yahoo.fr
Prof. Bogaert J.	Université de Liège/Gembloux Agro-Bio Tech, Unité Biodiversité et Paysage, B-5030 Gembloux, Belgique	j.bogaert@ulg.ac.be
Gambalemoke M.	University of Kisangani, Faculty of Sciences (Biology), Laboratory of Ecology and Animal Resources Management (LEGERA), P.O. Box 2012 Kisangani, DR. Congo	sgambalemoke@yahoo.fr
Prof. Habonimana B.	Université du Burundi, Faculté des Sciences Agronomiques, B.P. 2940 Bujumbura, Burundi	habonimana2@yahoo.fr
Dr Harerimana C.	Université du Burundi, Institut de Pédagogie Appliquée, Département de Chimie, B.P.5223 Bujumbura- Burundi.	harecasimir@yahoo.fr
Dr Nusura H.	Université du Burundi, Faculté des Sciences Agronomiques	hnusura@hotmail.com
Prof. Jung G.	Université Libre de Bruxelles – Belgique	cgjung@ulb.ac.be
Kimbembi ma I.A.	I.S.P.Mbanza-Ngungu, RDCongo.	alexiskimbembi@yahoo.fr
Kisekelwa T.	UERHA/ISP Bukavu, RDCongo	kisengoja@yahoo.fr
Prof. Lejoly J.	Université Libre de Bruxelles, Laboratoire d'Ecologie végétale et Biogéochimie, CP 244, Campus de la Plaine, Boulevard du Triomphe, B-1050 Bruxelles, Belgique	jlejoly@ulb.ac.be
Dr Masharabu T.	Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Biologie	masharabin@yahoo.fr
Dr Masumbuko C. N.	Université Officielle de Bukavu, Faculté des Sciences, Département de Biologie, B.P. 570 Bukavu.	masundab2002@yahoo.fr
Prof. Micha J.C.	Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix (FUNDP), Namur, Belgique	jean-claude.micha@unamur.be
Dr Midende G.	Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre	midendegilbert@yahoo.com
Minani B.	Université de Ngozi, Centre de Recherche en Agriculture et Développement Rural (CERADER)	bnminani@yahoo.fr
Mizere M.	Université du Burundi, Faculté des Sciences Agronomiques, B.P. 2940 Bujumbura, Burundi	mizero144@yahoo.fr
Prof. Mpawenayo B.	Université du Burundi, Institut de Pédagogie Appliquée, Département de Biologie, B.P. 5223 Bujumbura, Burundi	mpawenayob@yahoo.com
Muchukiwa B.	Institut Supérieur de Développement Rural et à l'Université Evangélique en Afrique à Bukavu, Sud Kivu, R D Congo.	bmuch@yahoo.fr
Munyuli T.	Department of Biology, National Center for Research in Natural Sciences, CRSN-Lwiro, D.S.Bukavu, Democratic Republic of Congo	tmnyuli@yahoo.com
Muvunyi R.	Université du Burundi, Faculté des Sciences Agronomiques	mrofacagro5@yahoo.fr
Myriam L.	Responsable des programmes PAD au Burundi	pad.burundi@hotmail.com
Dr Ndayishimiye J.	Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Biologie	joel.ndayishimiye@ub.edu.bi, ndayishimiye_joel@yahoo.fr
Prof. Ndikumana T.	Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Chimie	theo.ndikumana@gmail.com
Dr Ndimubandi J.	Université du Burundi, Faculté des Sciences Agronomiques	jean.ndimubandi@gmail.com
Nibigira L.	Université de Liège, Faculté des Sciences, Liège, Belgique	leonidas.nibigira@hotmail.com
Niyungeko A.	Université du Burundi, Facultés des Sciences, Département de Biologie	niyunge.alexis@yahoo.fr
Nsavyimana G.	Université de Liège, Département des Sciences et Gestion de l'environnement (DSGE). Unité Assainissement et Environnement. 185 Avenue de Longwy, 6700Arlon, Belgique	gnsavyi@yahoo.fr, gnsavyimana@student.ulg.ac.be
Nshokano B.I.		nshokanoisaac@yahoo.fr
Prof. Ntakarutimana V.	Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Chimie, B.P. 2700 Bujumbura-Burundi	ntakavest@yahoo.fr, vestine.ntakarutimana@ub.edu.bi
Prof. Ntakimazi G.	Université du Burundi, Faculté des Sciences, Département de Biologie	gaspard.ntakimazi@ub.edu.bi
Prof. Sabushimike J.M.	Université du Burundi, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département de Géographie	sabujm2000@yahoo.fr
Walangululu J.M.	Faculté des Sciences agronomiques de l'Université Catholique de Bukavu, RD Congo. B.P.2 Cyangugu, Rwanda	walangululu@yahoo.fr