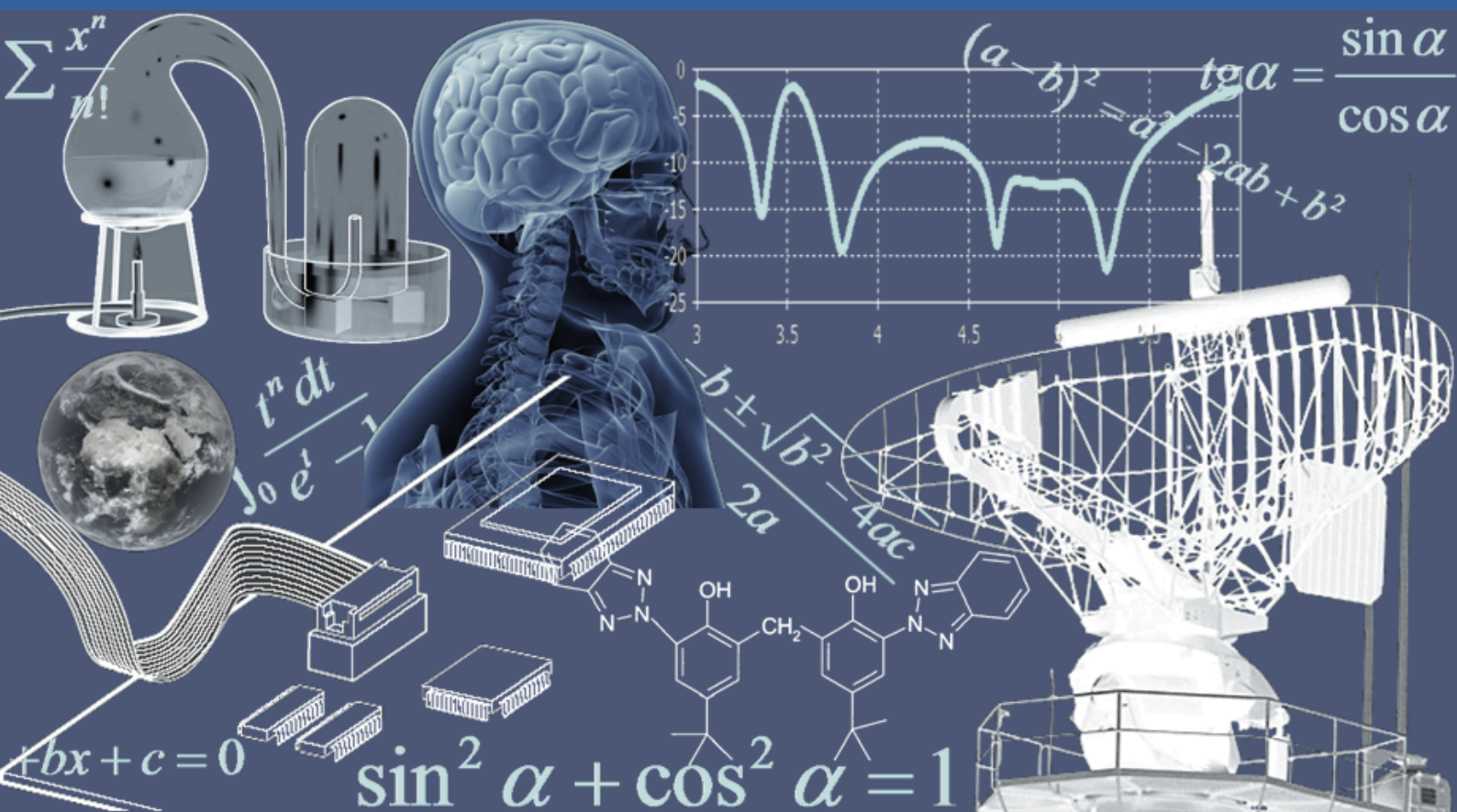


# INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 21 N. 3 October 2017



International Peer Reviewed Monthly Journal



## ***International Journal of Innovation and Applied Studies***

International Journal of Innovation and Applied Studies (ISSN: 2028-9324) is a peer reviewed multidisciplinary international journal publishing original and high-quality articles covering a wide range of topics in engineering, science and technology. IJIAS is an open access journal that publishes papers submitted in English, French and Spanish. The journal aims to give its contribution for enhancement of research studies and be a recognized forum attracting authors and audiences from both the academic and industrial communities interested in state-of-the art research activities in innovation and applied science areas, which cover topics including (but not limited to):

Agricultural and Biological Sciences, Arts and Humanities, Biochemistry, Genetics and Molecular Biology, Business, Management and Accounting, Chemical Engineering, Chemistry, Computer Science, Decision Sciences, Dentistry, Earth and Planetary Sciences, Economics, Econometrics and Finance, Energy, Engineering, Environmental Science, Health Professions, Immunology and Microbiology, Materials Science, Mathematics, Medicine, Neuroscience, Nursing, Pharmacology, Toxicology and Pharmaceuticals, Physics and Astronomy, Psychology, Social Sciences, Veterinary.

IJIAS hopes that Researchers, Graduate students, Developers, Professionals and others would make use of this journal publication for the development of innovation and scientific research. Contributions should not have been previously published nor be currently under consideration for publication elsewhere. All research articles, review articles, short communications and technical notes are pre-reviewed by the editor, and if appropriate, sent for blind peer review.

Accepted papers are available freely with online full-text content upon receiving the final versions, and will be indexed at major academic databases.

## Table of Contents

|                                                                                                                                                                                             |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Analyse du comportement géotechnique de sol le long de la rivière Lubumbashi en vue d'y construire les ouvrages portuaires (RD Congo)                                                       | 352-377 |
| <i><u>Y. KIYUKENO KITWANYOKA, G. MUKOKO KALENDA, G. LILE AMISI, L. KALUBI LUKENGU KALALA, Guy David SEBAGENZI, G. MUKENA MWABA, and C. MUSHID MULA</u></i>                                  |         |
| Epidémiologie de la schistosomiase dans la localité d'Ahoué au sud de la Côte d'Ivoire                                                                                                      | 378-387 |
| <i><u>N. Jean-Paul N'GBESSO, Nicaise Aya N'GUESSAN, Rufin Kouassi ASSARÉ, Mathieu Niangoran ORSOT, Kouamé N'DRI, and Ahoua YAPI</u></i>                                                     |         |
| Enquête ethnobotanique sur l'importance alimentaire et socio-économique des graines de ( <i>Phaseolus lunatus</i> (L.)) consommées au Sud et Est de la Côte d'Ivoire                        | 388-397 |
| <i><u>Tchoumou Messou, Yao N'zué Benjamin, Kossonou Yao Kamelé, Adingra Kouassi Martial-Didier, and Tano Kablan</u></i>                                                                     |         |
| Appréciation du potentiel des images satellitaires Sentinel1 et Sentinel2 pour la cartographie du parc marin des mangroves, en République Démocratique du Congo                             | 398-409 |
| <i><u>B. MUYAYA KALAMBAY, I.P. RUDANT, R. LUMBUENAMO SINZI, P. MUAMBA MUAMBANZAMBI, A. WAYAWO MANDATA, G. KONUNGA MBOTEKOLA, and M. COLLET</u></i>                                          |         |
| Fate of pathogenic parasites in sewage sediments and environmental components                                                                                                               | 410-417 |
| <i><u>Omar Amahmid, Souad Asmama, and Khadija Bouhoum</u></i>                                                                                                                               |         |
| Dynamique des conflits armés en province de l'Ituri de 1999 à 2015                                                                                                                          | 418-432 |
| <i><u>Jean TSUMBU GBORO</u></i>                                                                                                                                                             |         |
| Inventaire et caractéristiques faunistiques des macroinvertébrés de la rivière Alibori dans le bassin cotonnier du Bénin                                                                    | 433-448 |
| <i><u>Thierry M. AGBLONON HOUELOME, Delphine ADANDEDJIAN, Antoine CHIKOU, Ibrahim IMOROU TOKO, Cosme KOUDENOUKPO, Clément BONOU, Issaka YOUSAO, and Philippe LALEYE</u></i>                 |         |
| Sur l'étude didactique du rapport au savoir des élèves et la problématique du niveau dudit rapport : Cas du théorème de Pythagore                                                           | 449-460 |
| <i><u>Israël DISASHI KABADI</u></i>                                                                                                                                                         |         |
| PRINCIPE CARTOGRAPHIQUE DE LA DETECTION DES INSTALLATIONS CACHEES PAR LA METHODE DE BLUE STAKE DANS LA CONCESSION MINIERE DE TENKE FUNGURUME AU KATANGA EN REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO | 461-476 |
| <i><u>K.B. Lulali, K. Viascear, K. Wanduma, and L. KIPATA</u></i>                                                                                                                           |         |
| Investissements Directs Etrangers et industrialisation de l'Afrique                                                                                                                         | 477-491 |
| <i><u>Islem KRIAA, Ridha ETTBIB, and Zied AKROUT</u></i>                                                                                                                                    |         |
| UN NOUVEL ALGORITHME POUR RESOUDRE LE PROBLEME DU FLOT FLOU MAXIMAL                                                                                                                         | 492-498 |
| <i><u>Fernand MAMANYA TAPASA and Rostin MABELA MAKENGO</u></i>                                                                                                                              |         |
| ANALYSE DU CADRE DE PILOTAGE DE LA POLITIQUE MONETAIRE EN RDC                                                                                                                               | 499-507 |
| <i><u>Janvier EGUDRA NYADRI and Médard NGUBA MUNDALA</u></i>                                                                                                                                |         |
| Commercialisation et valeur nutritive des fourrages dans les centres urbains au Niger : cas des villes de Maradi et de Niamey                                                               | 508-521 |
| <i><u>Abdou Dan Gomma, Issa Chaibou, Maxime Banoin, and Eva Schlecht</u></i>                                                                                                                |         |
| Analyse spatiale des anomalies gravimétriques du bassin sédimentaire de la cuvette centrale congolaise et contribution à la modélisation de son système pétrolier                           | 522-535 |
| <i><u>François Tondozi Keto, Joseph Ntibahanana Munezero, Muyer Muyam, Bakamubia Kanyinda, Manzuma Mpukuta, Dieudonné Wafula Mifundu, and Mukandila Ngulula</u></i>                         |         |
| Estimation de la croissance d'essences tropicales africaines à travers une méthode basée sur l'utilisation des outils SIG                                                                   | 536-546 |
| <i><u>C. Ilunga, J. Komba, E. Mbayu, Prosper Sabongo, and L. Ndjele</u></i>                                                                                                                 |         |

## Analyse du comportement géotechnique de sol le long de la rivière Lubumbashi en vue d'y construire les ouvrages portuaires (RD Congo)

### [ Analysis of the soil geotechnical behavior along the Lubumbashi River for the construction of port facilities (DR Congo) ]

Y. KIYUKENO KITWANYOKA<sup>1</sup>, G. MUKOKO KALENDA<sup>1</sup>, G. LILE AMISI<sup>1</sup>, L. KALUBI LUKENGU KALALA<sup>2</sup>, Guy David SEBAGENZI<sup>3</sup>, G. MUKENA MWABA<sup>1</sup>, and C. MUSHID MULA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Lubumbashi, Département de Génie Civil, Unité de Recherche: Structures et Géotechnique, 1825 Lubumbashi, RD Congo

<sup>2</sup>Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Lubumbashi, Département de Géo-mines, Lubumbashi, RD Congo

<sup>3</sup>Université de Lubumbashi, Département de Gestion des ressources naturelles renouvelables, Unité de Recherche: Biogéochimie et écologie des sols et des écosystèmes tropicaux, 1825 Lubumbashi, RD Congo

---

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The choice of the structure to construct according to the type of soil (lift) requires specific analyzes related to soil geotechnical behavior.

The study is carried out on the basis of tests carried out in situ by the geotechnical laboratory of the OFFICE DES ROUTES along the Lubumbashi River. This allowed us to classify the soil and to reveal the different layers that constitute it, to reveal certain physical parameters on the one hand, and to know the permissible constraint on the other hand in order to size our structures. At the end of these studies it was retained that the soil surrounding the sheet pile curtain includes three layers at different depths, namely the laterite (a filler material), silt and dense sand.

Our study is carried out in two phases, the first phase concerns the study of the soil while the second and final is concerns the choice of the structure to construct according to the type of soil (lift), since the structure did not exist yet.

**KEYWORDS:** analysis, soil geotechnical behavior, construction, port works.

**RESUME:** Le choix de l'ouvrage à construire selon le type de sol (portance), nécessite des analyses spécifiques de comportement géotechnique de sol.

L'étude est effectuée sur la base d'essais réalisés in situ par le laboratoire géotechnique de l'OFFICE DES ROUTES le long de la rivière Lubumbashi. Ce qui nous a permis de classer le sol et d'en dégager les différentes couches le constituant, pour ressortir certains paramètres physiques d'une part, et d'en connaître la contrainte admissible d'autre part afin de dimensionner nos ouvrages.

A l'issue de ces études il a été retenu que le sol environnant le rideau de palplanche est de trois couches à différentes profondeurs, dont, la latérite qui est un matériau d'apport, le limon et du sable dense.

Notre étude se déroule en 2 parties, elle débute par l'étude du sol et enfin par le choix de l'ouvrage à construire selon le type de sol (portance), étant donné que l'ouvrage n'existait pas encore.

**MOTS-CLEFS:** analyse, comportement géotechnique de sol, construire, ouvrages portuaires.

## 1 INTRODUCTION

La RD Congo possède des rivières dans presque toutes les villes et provinces qui peuvent facilement être valorisables (en canal navigable) à l'aide d'études approfondies et d'investissements adéquats [6].

Pour la ville de Lubumbashi le transport inter commune par voie routière connaît des problèmes très sérieux de mobilité suite aux embouteillages pendant les heures de pointes, cela est dû aux difficultés liées à l'état de routes, et surtout pendant la saison pluvieuse. Eu égard à ce qui précède et comme la rivière Lubumbashi traverse beaucoup de quartiers (Golf, Lido, Gécamines, Mampala, Kinka-ville) et communes de la ville de Lubumbashi (Lubumbashi, Katuba, Kenya et Annexe), d'où la nécessité d'aménager et de placer un transport inter commune sur la rivière Lubumbashi pourrait, non seulement résoudre les difficultés susmentionnées, mais aussi palier aux inondations récurrentes que connaissent les riverains.

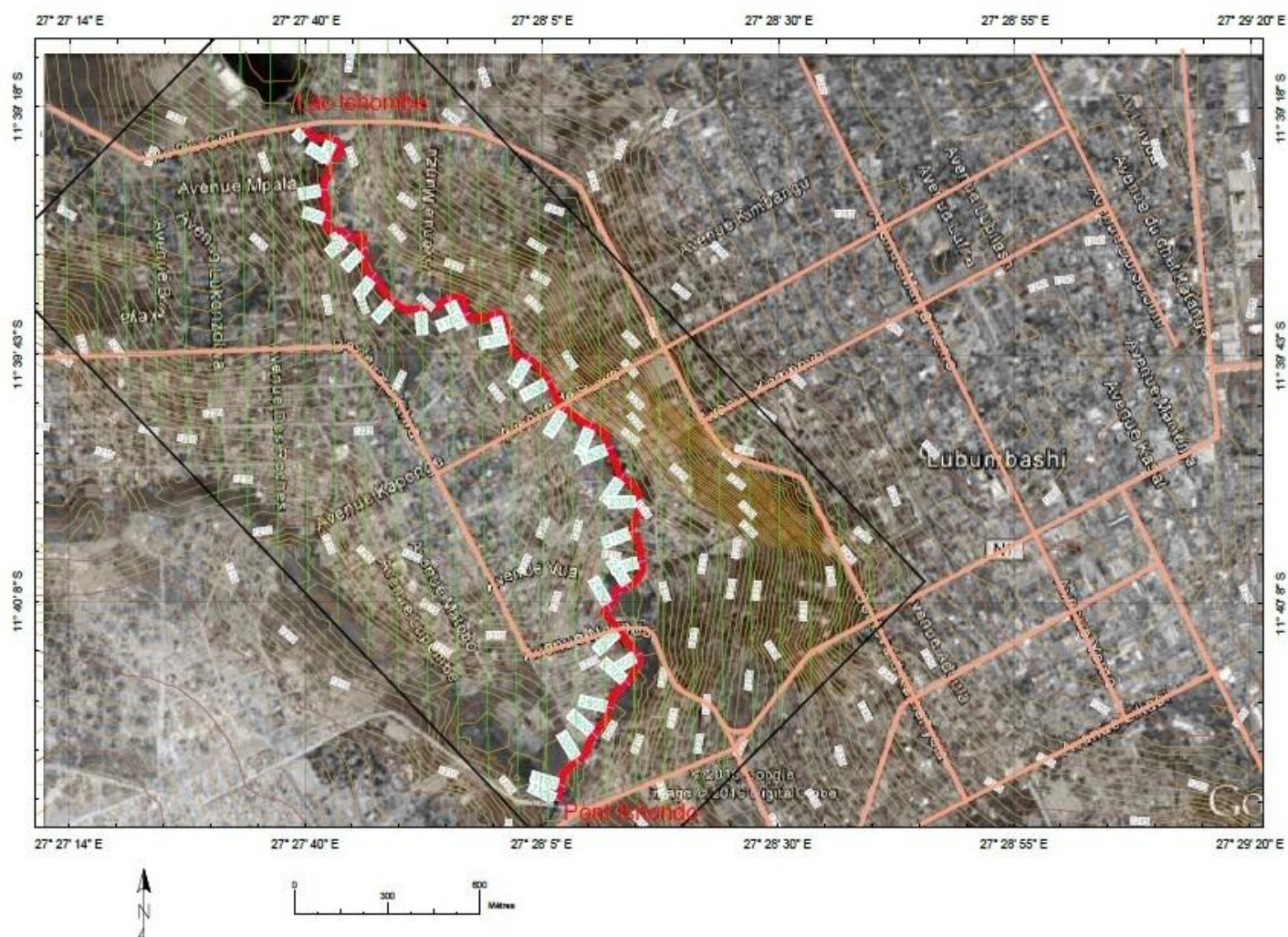
Pour notre part, nous allons étudier le comportement géotechnique du sol pour la construction des ouvrages (quais) le long du canal de la dite rivière. Et pour y arriver, nous allons mener une étude du sol le long du canal de la rivière étant donné que les ouvrages n'existent pas encore, afin de nous permettre de choisir le type d'ouvrage d'accostage et d'amarrage (quai) qui devra recevoir les petits bateaux (barques).

## 2 MILIEU, EQUIPEMENTS ET MATÉRIAUX UTILISÉS DANS CETTE ÉTUDE

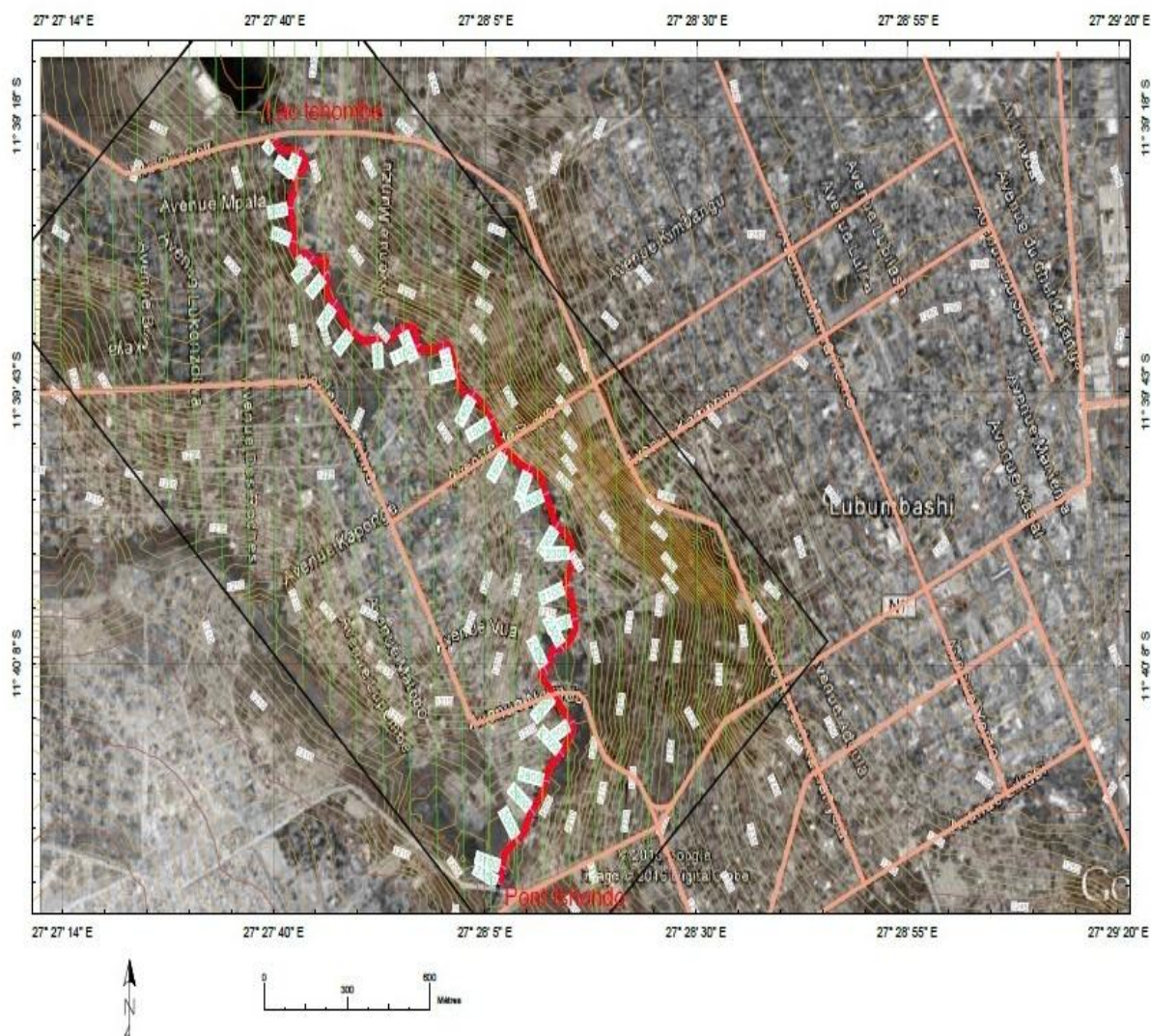
### 2.1 DESCRIPTION DU SITE D'ÉTUDE, VILLE DE LUBUMBASHI

Chef-lieu de la province du Haut Katanga située au Sud-Est de la République Démocratique du Congo, Lubumbashi (11°41'S., 27°29'EO) a une population estimée à 5.000.000 extensions comprises [2]. Elle est la deuxième grande ville du pays après Kinshasa [1].

La ville de Lubumbashi comprend sept communes qui sont drainées par la rivière Kafubu et ses nombreux tributaires, parmi lesquels on retrouve la rivière Lubumbashi [7]. Cette rivière tire sa source tout près du village Ntumbwe. Pour le cas de notre étude nous prendrons le tronçon compris entre le pont Tshombe et le pont Tshondo, comme illustre la figure ci-bas.







**Figure 1 : Présentation du site d'étude**

## 2.2 LES MATÉRIELS UTILISÉS DANS CETTE ÉTUDE: PÉNÉTROMÈTRE DYNAMIQUE

D'une manière générale, le sol de l'ex-province du Katanga fait partie du sol provenant des roches du katanguien. Les sols appartiennent aux sols ferralitiques jaunes et rouges sur cuirasse ferrugineuse [8]. Mais cela ne suffit pas pour déterminer les ouvrages portuaires à poser sur ce sol. C'est ainsi que nous avons procédé aux identifications de ce sol par des essais de pénétration (essais in situ). Ces essais déterminent directement une résistance limite du sol.

Pour le cas de notre étude nous avons utilisé le pénétromètre dynamique de 10 daN (Deca Newton) de l'entreprise Office des Routes (OR).

Ce sondage a consisté à enfoncer l'appareil dans le terrain jusqu'à une profondeur donnée, en général limitée par la capacité de pénétration de l'appareil lui-même. L'opérateur relève le nombre de coups nécessaires pour enfoncer l'appareil sur un pas de profondeur fixée, en général 10 cm. On a ensuite tracé le profil de résistance du sol correspondant en fonction de la profondeur atteinte par la pointe.

### 3 ANALYSE DU COMPORTEMENT GÉOTECHNIQUE DE SOL LE LONG DE LA RIVIÈRE LUBUMBASHI

Il existe deux modes de représentation d'un profil de pénétration dynamique [7] :

- ✓ soit on trace en fonction de la profondeur le nombre de coups  $N_d$  nécessaire pour obtenir un enfoncement donné, en général 10 cm ;
- ✓ soit on trace en fonction de la profondeur la résistance de pointe dynamique  $q_d$  calculée à l'aide d'une formule de battage de pieux, en général la formule des Hollandais, qui s'écrit :

$$q_d = \frac{M}{e(M + M')} \times \frac{M}{A} \quad (1)$$

Où :

- ✓ M est le poids du mouton,
- ✓ M' : le poids des parties frappées (enclume placée en tête du train de tiges et sur laquelle s'exercent les chocs, train de tiges et pointe),
- ✓ H : la hauteur de chute du mouton,
- ✓ e : l'enfoncement moyen par coup, A la section droite de la pointe et
- ✓ g : l'accélération due à la pesanteur.

Les résultats présentés ci-dessous sont issus des essais que nous avons effectués avec l'entreprise OFFICE DES ROUTES le long de la rivière Lubumbashi. Il a été réalisé des essais au pénétromètre de 10 daN (déca newton).

#### La détermination de la contrainte admissible

Elle est déduite par la formule de :

$$\sigma_a = \frac{R_d}{20} \quad (2)$$

Avec :

$R_d$  : résistance dynamique de pointe

20 : le coefficient de sécurité

Site 1 : CHANTIER/ LAC TSHOMBE

Tableau 1 : Données pénétrométriques des essais PD1 et PD2

| Pénétrömètre Dynamiques N°1                  |                  | CARACTERISTIQUE DE L'APPAREIL |                                                 |                  |               |            |
|----------------------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|------------------|---------------|------------|
| Type 10 Dan. Date 13/09/2012                 |                  | ✓                             | Hauteur de chute : 50 cm                        |                  |               |            |
| Section de la pointe en cm <sup>2</sup> : 10 |                  | ✓                             | Poids du mouton : 10 kg                         |                  |               |            |
| Niveau de l'eau : 3,00 et 2,60 m Boue        |                  | ✓                             | Poids mort au debut de l'essai : 7,700 kg       |                  |               |            |
|                                              |                  | ✓                             | Poids par tige supplémentaire de 1 m : 2,950 kg |                  |               |            |
| Profondeur                                   | Nombre des coups | PD1 (+0,00 m)                 |                                                 | Nombre des coups | PD2 (+0,70 m) |            |
|                                              |                  | Rd1 (Mpa)                     | σa 1 (Mpa)                                      |                  | Rd2 (Mpa)     | σa 2 (Mpa) |
| 0,20                                         | 20               | 2,8                           | 0,14                                            | 14               | 2             | 0,10       |
| 0,40                                         | 6                | 0,9                           | 0,05                                            | 9                | 1,3           | 0,07       |
| 0,60                                         | 4                | 0,6                           | 0,03                                            | 39               | 5,5           | 0,28       |
| 0,80                                         | 4                | 0,6                           | 0,03                                            | 27               | 3,8           | 0,19       |
| 1,00                                         | 6                | 0,9                           | 0,05                                            | 17               | 2,4           | 0,12       |
| 1,20                                         | 3                | 0,4                           | 0,02                                            | 10               | 1,3           | 0,07       |
| 1,40                                         | 4                | 0,5                           | 0,03                                            | 4                | 0,5           | 0,03       |
| 1,60                                         | 7                | 0,9                           | 0,05                                            | 9                | 1,1           | 0,06       |
| 1,80                                         | 6                | 0,8                           | 0,04                                            | 4                | 0,5           | 0,03       |
| 2,00                                         | 7                | 0,9                           | 0,05                                            | 5                | 0,6           | 0,03       |
| 2,20                                         | 6                | 0,7                           | 0,04                                            | 5                | 0,6           | 0,03       |
| 2,40                                         | 10               | 1,1                           | 0,06                                            | 5                | 0,6           | 0,03       |
| 2,60                                         | 8                | 0,9                           | 0,05                                            | 4                | 0,5           | 0,03       |
| 2,80                                         | 11               | 1,3                           | 0,07                                            | 5                | 0,6           | 0,03       |
| 3,00                                         | 8                | 0,9                           | 0,05                                            | 6                | 0,7           | 0,04       |
| 3,20                                         | 9                | 0,9                           | 0,05                                            | 7                | 0,7           | 0,04       |
| 3,40                                         | 6                | 0,6                           | 0,03                                            | 10               | 1             | 0,05       |
| 3,60                                         | 10               | 1                             | 0,05                                            | 15               | 1,6           | 0,08       |
| 3,80                                         | 10               | 1                             | 0,05                                            | 16               | 1,7           | 0,09       |
| 4,00                                         | 5                | 0,5                           | 0,03                                            | 21               | 2,2           | 0,11       |
| 4,20                                         | 7                | 0,7                           | 0,04                                            | 20               | 1,9           | 0,10       |
| 4,40                                         | 6                | 0,6                           | 0,03                                            | 21               | 2             | 0,10       |
| 4,60                                         | 9                | 0,9                           | 0,05                                            | 25               | 2,4           | 0,12       |
| 4,80                                         | 25               | 2,4                           | 0,12                                            | 19               | 1,8           | 0,09       |
| 5,00                                         | 175              | 16,6                          | 0,83                                            | 14               | 1,3           | 0,07       |
| 5,20                                         | 200              | 17,6                          | 0,88                                            | 7                | 0,6           | 0,03       |
| 5,40                                         |                  |                               |                                                 | 20               | 1,8           | 0,09       |
| 5,60                                         |                  |                               |                                                 | 150              | 13,2          | 0,66       |
| 5,80                                         |                  |                               |                                                 | 200              | 17,6          | 0,88       |

Tableau 2 : Données pénétrométriques des essais PD3 et PD4

| Pénétrömètre Dynamiques N°1                  |                  | CARACTERISTIQUE DE L'APPAREIL |                                                 |                  |               |            |
|----------------------------------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|------------------|---------------|------------|
| Type 10 Dan. Date 13/09/2012                 |                  | ✓                             | Hauteur de chute : 50 cm                        |                  |               |            |
| Section de la pointe en cm <sup>2</sup> : 10 |                  | ✓                             | Poids du mouton : 10 kg                         |                  |               |            |
| Niveau de l'eau : 2,00 et 5,50 m Boue        |                  | ✓                             | Poids mort au debut de l'essai : 7,700 kg       |                  |               |            |
|                                              |                  | ✓                             | Poids par tige supplémentaire de 1 m : 2,950 kg |                  |               |            |
| Profondeur                                   | Nombre des coups | PD3 (+0,00 m)                 |                                                 | Nombre des coups | PD4 (+0,70 m) |            |
|                                              |                  | Rd1 (Mpa)                     | σa 1 (Mpa)                                      |                  | Rd2 (Mpa)     | σa 2 (Mpa) |
| 0,20                                         | 30               | 4,3                           | 0,22                                            | 67               | 9,5           | 0,48       |
| 0,40                                         | 6                | 0,9                           | 0,05                                            | 25               | 3,6           | 0,18       |
| 0,60                                         | 6                | 0,9                           | 0,05                                            | 14               | 2             | 0,10       |
| 0,80                                         | 5                | 0,7                           | 0,04                                            | 13               | 1,8           | 0,09       |
| 1,00                                         | 6                | 0,9                           | 0,05                                            | 7                | 1             | 0,05       |
| 1,20                                         | 4                | 0,5                           | 0,03                                            | 3                | 0,4           | 0,02       |
| 1,40                                         | 4                | 0,5                           | 0,03                                            | 2                | 0,3           | 0,02       |
| 1,60                                         | 10               | 1,3                           | 0,07                                            | 4                | 0,5           | 0,03       |
| 1,80                                         | 9                | 1,1                           | 0,06                                            | 5                | 0,6           | 0,03       |
| 2,00                                         | 34               | 4,3                           | 0,22                                            | 8                | 1             | 0,05       |
| 2,20                                         | 38               | 4,3                           | 0,22                                            | 10               | 1,1           | 0,06       |
| 2,40                                         | 70               | 8                             | 0,40                                            | 9                | 1             | 0,05       |
| 2,60                                         | 33               | 3,8                           | 0,19                                            | 13               | 1,5           | 0,08       |
| 2,80                                         | 25               | 2,9                           | 0,15                                            | 9                | 1             | 0,05       |
| 3,00                                         | 15               | 1,7                           | 0,09                                            | 15               | 1,7           | 0,09       |
| 3,20                                         | 16               | 1,7                           | 0,09                                            | 16               | 1,7           | 0,09       |
| 3,40                                         | 20               | 2,1                           | 0,11                                            | 10               | 1             | 0,05       |
| 3,60                                         | 16               | 1,7                           | 0,09                                            | 11               | 1,1           | 0,06       |
| 3,80                                         | 16               | 1,7                           | 0,09                                            | 11               | 1,1           | 0,06       |
| 4,00                                         | 19               | 2                             | 0,10                                            | 15               | 1,6           | 0,08       |
| 4,20                                         | 14               | 1,3                           | 0,07                                            | 15               | 1,4           | 0,07       |
| 4,40                                         | 18               | 1,7                           | 0,09                                            | 16               | 1,5           | 0,08       |
| 4,60                                         | 13               | 1,2                           | 0,06                                            | 25               | 2,4           | 0,12       |
| 4,80                                         | 20               | 1,9                           | 0,10                                            | 27               | 2,6           | 0,13       |
| 5,00                                         | 19               | 1,8                           | 0,09                                            | 30               | 2,9           | 0,15       |
| 5,20                                         | 19               | 1,7                           | 0,09                                            | 56               | 4,9           | 0,25       |
| 5,40                                         | 30               | 2,6                           | 0,13                                            | 150              | 13,2          | 0,66       |
| 5,60                                         | 90               | 7,9                           | 0,40                                            | 200              | 17,6          | 0,88       |
| 5,80                                         | 200              | 17,6                          | 0,88                                            |                  |               |            |

**Tableau 3 : Synthèse des contraintes admissibles des essais PD1, PD2, PD3 et PD4**

| Profondeur | PD1              | PD2              | PD3              | PD4              |
|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|            | $\sigma_a$ (Mpa) | $\sigma_a$ (Mpa) | $\sigma_a$ (Mpa) | $\sigma_a$ (Mpa) |
| 0          | 0                | 0                | 0                | 0                |
| 0,20       | 0,14             | 0,1              | 0,21             | 0,48             |
| 0,40       | 0,04             | 0,06             | 0,04             | 0,18             |
| 0,60       | 0,03             | 0,28             | 0,04             | 0,1              |
| 0,80       | 0,03             | 0,19             | 0,04             | 0,09             |
| 1,00       | 0,04             | 0,12             | 0,04             | 0,05             |
| 1,20       | 0,02             | 0,06             | 0,03             | 0,02             |
| 1,40       | 0,03             | 0,03             | 0,03             | 0,01             |
| 1,60       | 0,04             | 0,06             | 0,06             | 0,03             |
| 1,80       | 0,04             | 0,03             | 0,06             | 0,03             |
| 2,00       | 0,04             | 0,03             | 0,21             | 0,05             |
| 2,20       | 0,03             | 0,03             | 0,22             | 0,06             |
| 2,40       | 0,06             | 0,03             | 0,4              | 0,05             |
| 2,60       | 0,05             | 0,02             | 0,19             | 0,07             |
| 2,80       | 0,06             | 0,03             | 0,14             | 0,05             |
| 3,00       | 0,05             | 0,03             | 0,09             | 0,09             |
| 3,20       | 0,05             | 0,04             | 0,08             | 0,08             |
| 3,40       | 0,03             | 0,05             | 0,1              | 0,05             |
| 3,60       | 0,05             | 0,08             | 0,08             | 0,06             |
| 3,80       | 0,05             | 0,08             | 0,08             | 0,06             |
| 4,00       | 0,03             | 0,11             | 0,1              | 0,08             |
| 4,20       | 0,03             | 0,1              | 0,07             | 0,07             |
| 4,40       | 0,03             | 0,1              | 0,09             | 0,08             |
| 4,60       | 0,04             | 0,12             | 0,06             | 0,12             |
| 4,80       | 0,12             | 0,09             | 0,1              | 0,13             |
| 5,00       | 0,83             | 0,07             | 0,09             | 0,14             |
| 5,20       | 0,088            | 0,03             | 0,08             | 0,25             |
| 5,40       |                  | 0,09             | 0,13             | 0,66             |
| 5,60       |                  | 0,66             | 0,4              | 0,88             |
| 5,80       |                  | 0,088            | 0,88             |                  |

*Tableau 4 : Contraintes admissibles des minima*

| Profondeur | $\sigma_a$ (Mpa) |
|------------|------------------|
| 0          | 0,1              |
| 0,20       | 0,04             |
| 0,40       | 0,03             |
| 0,60       | 0,03             |
| 0,80       | 0,04             |
| 1,00       | 0,2              |
| 1,20       | 0,01             |
| 1,40       | 0,03             |
| 1,60       | 0,03             |
| 1,80       | 0,03             |
| 2,00       | 0,03             |
| 2,20       | 0,03             |
| 2,40       | 0,03             |
| 2,60       | 0,02             |
| 2,80       | 0,03             |
| 3,00       | 0,03             |
| 3,20       | 0,04             |
| 3,40       | 0,05             |
| 3,60       | 0,05             |
| 3,80       | 0,03             |
| 4,00       | 0,03             |
| 4,20       | 0,03             |
| 4,40       | 0,03             |
| 4,60       | 0,04             |
| 4,80       | 0,09             |
| 5,00       | 0,07             |
| 5,20       | 0,03             |
| 5,40       | 0,09             |
| 5,60       | 0,4              |
| 5,80       | 0,88             |

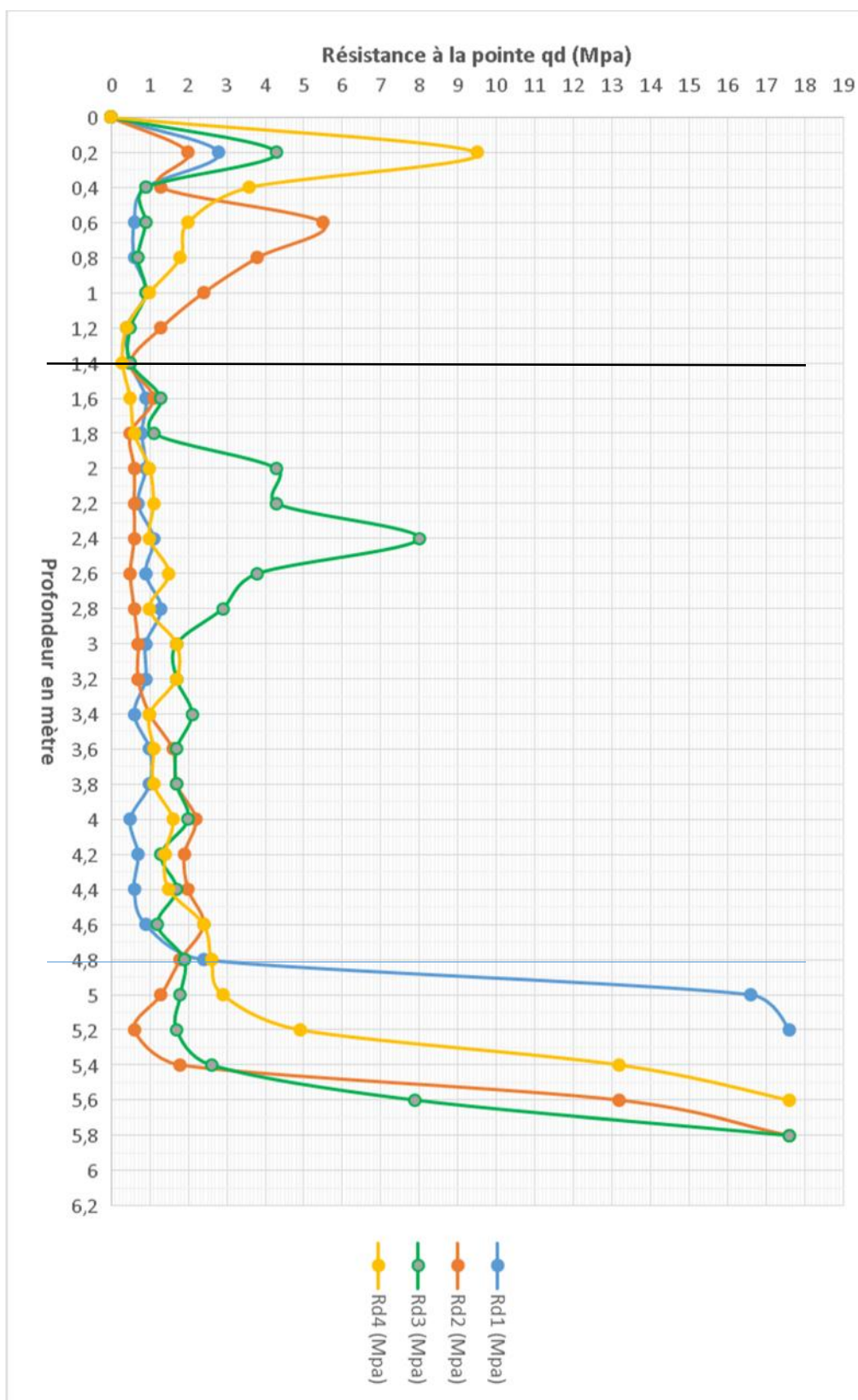


Figure 2 : Diagramme pénétrométrique des essais du site 1

## INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

La figure 2 montre d'une manière condensée le comportement ou les variations des différentes résistances de la pointe de chaque essai pénétrométrique effectué sur notre site.

De tous ces essais, nous avons pu définir des plages de résistance dynamique (Rd ou qd) unitaire de pointe correspondant aux différents types de sols que nous résumons dans le tableau 5 ci-dessous :

**Tableau 5 : Résistance dynamique unitaire de pointe mesurée dans différentes natures de sols [10]**

| Nature du sol               | Rd ou qd (Mpa) |
|-----------------------------|----------------|
| ✓ Vase                      | 0,1 - 1        |
| ✓ Limon                     | 0,6 - 1,5      |
| ✓ Argile molle              | 0,1 - 1,5      |
| ✓ Argile consistante        | 1,5 - 3        |
| ✓ Argile raide              | 3 - 5          |
| ✓ Argile raide caillouteuse | 3 - 7          |
| ✓ Sable lâche               | 0,2 - 4        |
| ✓ Sable dense               | 5 - 30         |
| ✓ Sable argileux            | 4 - 7          |
| ✓ Sable et graviers lâches  | 0,5 - 4        |
| ✓ Sable et graviers denses  | 7 - 35         |
| ✓ Craie molle               | 0,7 - 4        |
| ✓ Craie indurée             | 10 - 50        |
| ✓ Marne                     | 6 - 15         |
| ✓ Marne raide ou indurée    | 20 - 100       |

A l'égard des diagrammes pénétrométriques, on peut noter que dans les sols homogènes **qd** augmente très légèrement avec la profondeur.

Cependant, nous constatons sur notre diagramme d'ensemble des différentes pénétrations sur notre site, qu'à partir d'une certaine profondeur (à 1,4m) les diagrammes deviennent plus ou moins homogènes ; sauf une partie du diagramme Rd<sub>3</sub> qui présente une zone d'anomalie montrant une grande résistance dynamique par rapport à la zone restante. Cette anomalie peut être soit un fragment de roche, ou pierrailles.

L'homogénéité s'entend jusqu'à une profondeur de 4,8 m, puis commence une autre suite d'homogénéité jusqu'à une profondeur de 5,8 m.

De la profondeur 0 à 1,4 m subsiste une zone présentant plusieurs anomalies, ce qui sera difficile de pourvoir classé ce type de sol, mais du moins en géotechnique, les sols de surface sont souvent à décaper, ce derniers étant végétaux (inutiles pour le géotechnicien mais utile pour l'agronome).

En effet, nous sommes en présence de 3 couches dont les profondeurs sont :

- ✓ 1<sup>e</sup> couche : de 0 à 1,4 m
- ✓ 2<sup>e</sup> couche : de 1,4 à 4,8 m
- ✓ 3<sup>e</sup> couche : de 4,8 à 5,8 m

Classification des couches

### ✓ Première couche :

Le sol est à enlever et devra être remplacé par un sol d'apport, en l'occurrence la latérite de Kipushi qui est du type argileux, dont les caractéristiques géotechniques intrinsèques sont données dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 6 : Caractéristique intrinsèques des latérites de Kipushi [5].**

| Paires de cercles | $\varphi[^\circ]$ | $\sigma_1$ | $\tau_1$ | $C[k]$ |
|-------------------|-------------------|------------|----------|--------|
| 100 à 200 [k]     | 31,17             | 162,2      | 111,5    | 11,3   |
| 100 à 300 [k]     | 25,5              | 174,6      | 118,3    | 35     |
| 200 à 300 [k]     | 16,17             | 372,3      | 231,6    | 119,8  |
| Moyenne           | 26,6              |            |          | 55,4   |

✓ **Deuxième couche :**

Se référant au tableau 5, nous voyons que les diagrammes varient entre 0,6 et 1,5. Donc, nous sommes en présence d'une couche de Limon.

Pour le géotechnicien, le limon désigne une fraction granulométrique intermédiaire entre argile et sable, c'est-à-dire la fraction granulométrique **2  $\mu\text{m}$ -20  $\mu\text{m}$**  et, par extension, une famille de sol où cette fraction prédomine [9].

Pour le géologue, la classification des limons se fait suivant un critère génétique.

Il distingue :

- ✓ les limons éluviaux, résultant d'une altération sur place du substratum ;
- ✓ les limons colluviaux, formés par entraînement d'éléments par l'eau courante ou par gravité ; (ce qui est notre cas, puisque nous nous retrouvons au bord d'une rivière)
- ✓ les limons alluviaux, les plus répandus, formés par accumulation d'éléments transportés par un fluide (air ou eau) en mouvement. Ils sont essentiellement représentés par les limons éoliens, comme les "lœss" [4].

Le tableau ci-bas, donne la cohésion et l'angle de frottement interne du limon.

**Tableau 7 : Caractéristiques intrinsèques des limons selon la société de conseils en construction-Solem**

| Sol   | $C$<br>(kPa) | $\varphi$<br>(degrés) |
|-------|--------------|-----------------------|
| Limon | 5            | 26                    |

✓ **Troisième couche :**

Dans la troisième couche selon le diagramme d'ensemble des différentes pénétrations sur notre site, on voit que l'on est dans un matériau à grande résistance à la pointe, comme une roche saine, un sable compact ; du fait que la résistance à la pointe a augmenté sensiblement pour une petite profondeur. Et c'est dans cette même couche que le refus est atteint (le refus dépend aussi du type de pénétromètre utilisé c'est-à-dire du poids de la tête de mouton).

Nous pouvons alors dire que l'on est dans un sable dense conformément au tableau 5

**CHOIX DE L'OUVRAGE**

Eu égard aux différents résultats fournis par ces essais de pénétration et se référant au tableau 4, nous pouvons dire que nous sommes dans une zone dont les portances ne sont pas suffisantes.

De ce fait, notre choix sera donc porté sur les ouvrages d'accostage sur sol de faible portance. Nous optons pour les quais en rideaux de palplanches parce que, les quais constitués par de rideau de palplanches métalliques ancré sur un rideau arrière, sont utilisés lorsque le terrain naturel offre une portance insuffisante pour supporter un ouvrage massif, mais possède des caractéristiques géotechniques permettant d'offrir une butée au pied du rideau (côté bassin) capable d'équilibrer la poussée du remblai. C'est le cas de sols sableux, de marnes ou d'argiles suffisamment compactes. Ce qui est le cas de notre site.

Site 2 : CHANTIER/ PONT KARAVIA

*Tableau 8 : Synthèse des contraintes admissibles*

| Profondeur | PD1              | PD2              | PD3              | PD4              |
|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|            | $\sigma_a$ (Mpa) | $\sigma_a$ (Mpa) | $\sigma_a$ (Mpa) | $\sigma_a$ (Mpa) |
| 0          | 0,04             | 0,03             | 0,04             | 0,03             |
| 0,20       | 0,08             | 0,01             | 0,03             | 0,03             |
| 0,40       | 0,11             | 0,02             | 0,03             | 0,01             |
| 0,60       | 0,11             | 0,01             | 0,02             | 0,01             |
| 0,80       | 0,13             | 0,01             | 0,02             | 0,04             |
| 1,00       | 0,21             | 0,45             | 0,08             | 0,03             |
| 1,20       | 0,10             | 0,04             | 0,02             | 0,02             |
| 1,40       | 0,10             | 0,04             | 0,01             | 0,02             |
| 1,60       | 0,11             | 0,04             | 0,03             | 0,04             |
| 1,80       | 0,13             | 0,03             | 0,03             | 0,04             |
| 2,00       | 0,10             | 0,06             | 0,03             | 0,04             |
| 2,20       | 0,03             | 0,05             | 0,03             | 0,09             |
| 2,40       | 0,03             | 0,14             | 0,04             | 0,13             |
| 2,60       | 0,03             | 0,28             | 0,04             | 0,15             |
| 2,80       | 0,03             | 0,12             | 0,03             | 0,17             |
| 3,00       | 0,06             | 0,94             | 0,06             |                  |
| 3,20       | 0,04             |                  | 0,06             |                  |
| 3,40       | 0,05             |                  | 0,10             |                  |
| 3,60       | 0,06             |                  | 0,08             |                  |
| 3,80       | 0,21             |                  | 0,85             |                  |
| 4,00       | 0,15             |                  |                  |                  |
| 4,20       | 0,13             |                  |                  |                  |
| 4,40       | 0,26             |                  |                  |                  |
| 4,60       | 0,16             |                  |                  |                  |
| 4,80       | 0,77             |                  |                  |                  |
| 5,00       |                  |                  |                  |                  |
| 5,20       |                  |                  |                  |                  |
| 5,40       |                  |                  |                  |                  |
| 5,60       |                  |                  |                  |                  |
| 5,80       |                  |                  |                  |                  |

*Tableau 9 : Contraintes admissibles des minima*

| Profondeur | $\sigma_a$ (Mpa) |
|------------|------------------|
| 0          | 0,03             |
| 0,20       | 0,01             |
| 0,40       | 0,01             |
| 0,60       | 0,01             |
| 0,80       | 0,01             |
| 1,00       | 0,01             |
| 1,20       | 0,03             |
| 1,40       | 0,02             |
| 1,60       | 0,01             |
| 1,80       | 0,03             |
| 2,00       | 0,03             |
| 2,20       | 0,03             |
| 2,40       | 0,03             |
| 2,60       | 0,03             |
| 2,80       | 0,03             |
| 3,00       | 0,03             |
| 3,20       | 0,07             |
| 3,40       | 0,06             |
| 3,60       | 0,04             |
| 3,80       | 0,05             |
| 4,00       | 0,06             |
| 4,20       | 0,21             |
| 4,40       | 0,15             |
| 4,60       | 0,13             |
| 4,80       | 0,26             |
| 5,00       | 0,16             |
| 5,20       | 0,77             |
| 5,40       |                  |
| 5,60       |                  |
| 5,80       |                  |

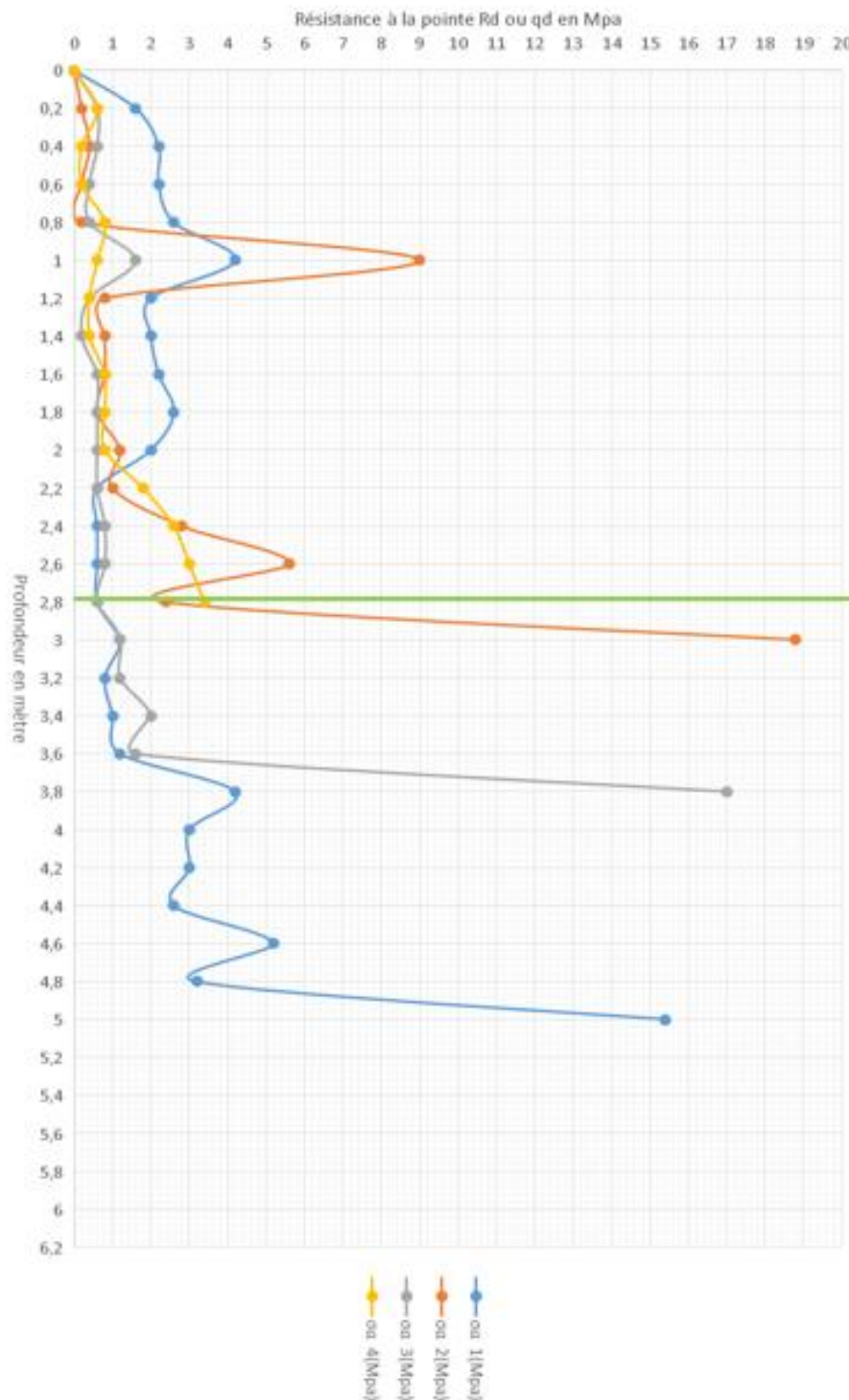


Figure 3 : Diagramme pénétrométrique des essais du site 2

#### INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Se référant à ce qui a été dit précédemment, nous avons 3 couches qui seront classifiées comme les couches précédentes, mais à des profondeurs différentes y compris celle de la terre arable qui n'est nullement utiles pour le géotechnicien.

Ainsi, l'interprétation de ce diagramme est conforme au diagramme précédent.

- ✓ 1<sup>e</sup> couche : terre arable de 0 à 20 cm
- ✓ 2<sup>e</sup> couche : limon de 0,2 à 2,8 m
- ✓ 3<sup>e</sup> couche : du sable dense de 2,8 à 5 m

#### CHOIX DE L'OUVRAGE

Il revient de signaler ici que l'ouvrage à poser sur ce sol est celui choisi pour le sol précédent, car, ce sol présente les mêmes caractéristiques que le sol précédent.

**Site 3 : CHANTIER/ DOMAINE MARIAL**

**Tableau 10 : Synthèse des contraintes admissibles**

| Profondeur | PD1              | PD2              | PD3              | PD4              |
|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|            | $\sigma_a$ (Mpa) | $\sigma_a$ (Mpa) | $\sigma_a$ (Mpa) | $\sigma_a$ (Mpa) |
| 0,20       | 1,78             | 0,36             | 0,34             | 0,37             |
| 0,40       | 0,22             | 0,64             | 0,41             | 0,82             |
| 0,60       | 0,23             | 1,56             | 0,92             | 0,28             |
| 0,80       | 0,12             | 0,53             | 0,69             | 0,40             |
| 1,00       | 0,11             | 0,21             | 0,55             | 0,32             |
| 1,20       | 0,18             | 0,42             | 0,38             | 0,16             |
| 1,40       | 0,13             | 0,47             | 0,50             | 0,23             |
| 1,60       | 0,14             | 0,16             | 0,32             | 0,30             |
| 1,80       | 0,29             | 0,06             | 0,18             | 0,28             |
| 2,00       | 0,21             | 0,04             | 0,33             | 0,28             |
| 2,20       | 0,07             | 0,09             | 0,19             | 0,23             |
| 2,40       | 0,22             | 0,04             | 0,05             | 0,29             |
| 2,60       | 0,10             | 0,57             | 0,06             | 0,31             |
| 2,80       | 0,28             | 0,40             | 0,03             | 0,26             |
| 3,00       | 0,91             | 0,29             | 0,06             | 0,43             |
| 3,20       | 1,30             | 0,10             | 0,03             | 0,41             |
| 3,40       |                  | 0,29             | 0,04             | 0,41             |
| 3,60       |                  | 1,30             | 0,03             | 0,42             |
| 3,80       |                  |                  | 0,5              | 0,42             |
| 4,00       |                  |                  | 0,5              | 0,62             |
| 4,20       |                  |                  | 0,03             | 1,19             |
| 4,40       |                  |                  | 0,36             |                  |
| 4,60       |                  |                  | 1,19             |                  |
| 4,80       |                  |                  |                  |                  |
| 5,00       |                  |                  |                  |                  |
| 5,20       |                  |                  |                  |                  |
| 5,40       |                  |                  |                  |                  |
| 5,60       |                  |                  |                  |                  |
| 5,80       |                  |                  |                  |                  |

*Tableau 11 : Contraintes admissibles des minima*

| Profondeur | $\sigma_a$ (Mpa) |
|------------|------------------|
| 0,20       | 0,34             |
| 0,40       | 0,22             |
| 0,60       | 0,23             |
| 0,80       | 0,12             |
| 1,00       | 0,11             |
| 1,20       | 0,16             |
| 1,40       | 0,13             |
| 1,60       | 0,14             |
| 1,80       | 0,06             |
| 2,00       | 0,04             |
| 2,20       | 0,07             |
| 2,40       | 0,04             |
| 2,60       | 0,06             |
| 2,80       | 0,03             |
| 3,00       | 0,06             |
| 3,20       | 0,03             |
| 3,40       | 0,04             |
| 3,60       | 0,03             |
| 3,80       | 0,05             |
| 4,00       | 0,05             |
| 4,20       | 0,03             |
| 4,40       | 0,36             |
| 4,60       | 0,19             |
| 4,80       |                  |
| 5,00       |                  |
| 5,20       |                  |
| 5,40       |                  |
| 5,60       |                  |
| 5,80       |                  |

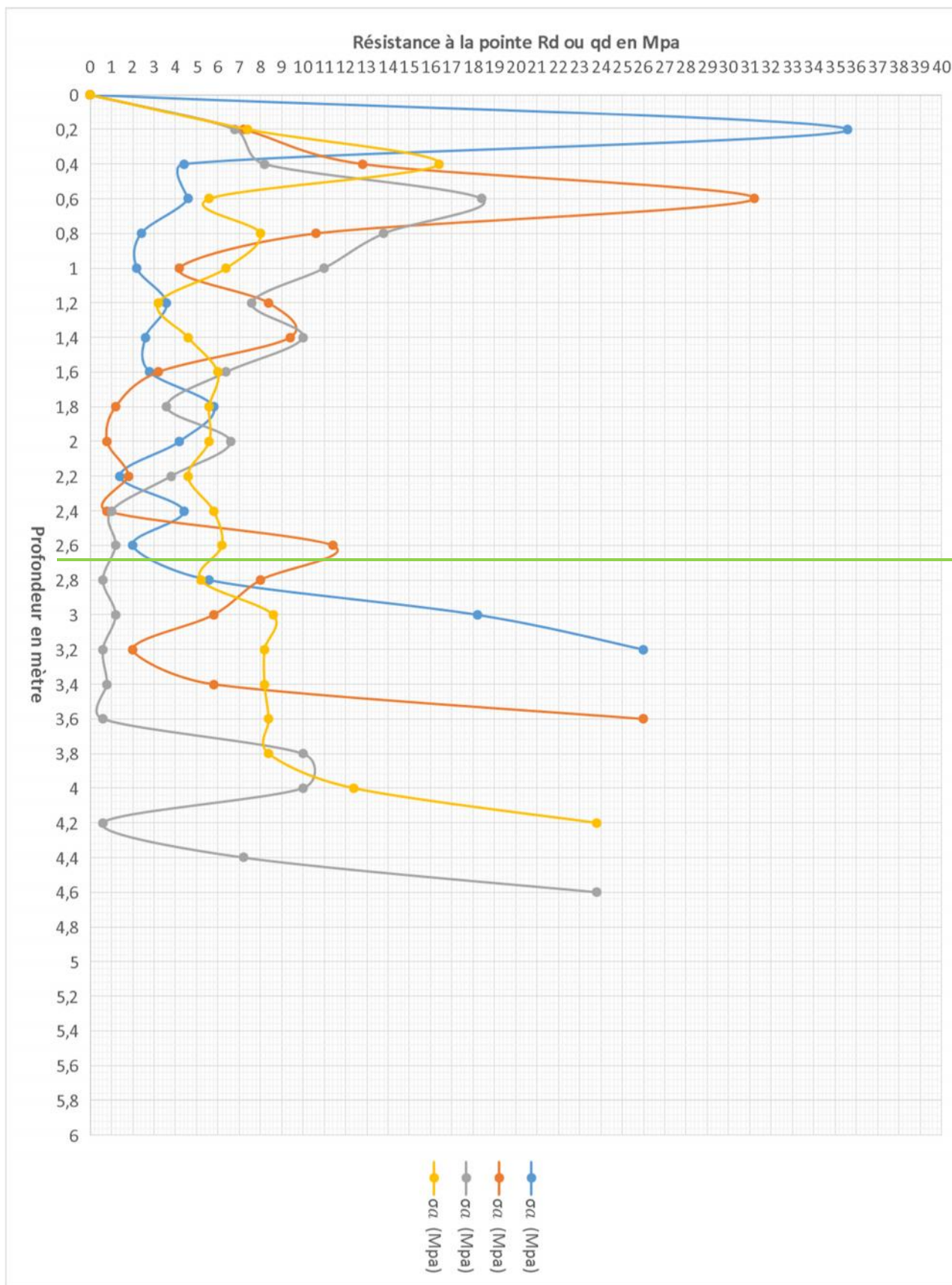


Figure 4 : Diagramme pénétrométrique des essais du site 3

## INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Pour ce profil pénétrométrique condensé des essais, on se trouve en présence de deux couches :

- ✓ 1<sup>e</sup> couche : couche à décaper parce qu'elle présente plusieurs fluctuations avec une allure décroissante, ce qui nous laisserait croire que l'on se trouve dans un sol boueux. Ceci sera remplacé par un matériau d'apport dont on connaît bien les propriétés géotechniques, de la latérite par exemple.
- ✓ 2<sup>e</sup> couche : sable dense

## CHOIX DE L'OUVRAGE

A l'égard de la portance de ce sol, nous pouvons également opté pour les quais en rideaux de palplanches, mais un mur de soutènement peut aussi être envisageable.

**Site 4 : CHANTIER/ PONT LIDO**

*Tableau 12 : Synthèse des contraintes admissibles*

| Profondeur  | PD1              | PD2              | PD3              | PD4              |
|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|             | $\sigma_a$ (Mpa) | $\sigma_a$ (Mpa) | $\sigma_a$ (Mpa) | $\sigma_a$ (Mpa) |
| <b>0,20</b> | 1,08             | 0,06             | 0,04             | <b>0,07</b>      |
| <b>0,40</b> | 0,29             | 0,31             | 0,41             | <b>0,12</b>      |
| <b>0,60</b> | 0,33             | 1,06             | 0,62             | <b>0,28</b>      |
| <b>0,80</b> | 0,11             | 0,50             | 0,63             | <b>0,30</b>      |
| <b>1,00</b> | 0,11             | 0,26             | 0,55             | <b>0,36</b>      |
| <b>1,20</b> | 0,16             | 0,49             | 0,38             | <b>0,18</b>      |
| <b>1,40</b> | 0,15             | 0,47             | 0,50             | <b>0,23</b>      |
| <b>1,60</b> | 0,14             | 0,14             | 0,32             | <b>0,36</b>      |
| <b>1,80</b> | 0,29             | 0,06             | 0,28             | <b>0,28</b>      |
| <b>2,00</b> | 0,21             | 0,06             | 0,39             | <b>0,21</b>      |
| <b>2,20</b> | 0,09             | 0,09             | 0,18             | <b>0,29</b>      |
| <b>2,40</b> | 0,22             | 0,04             | 0,05             | <b>0,29</b>      |
| <b>2,60</b> | 0,10             | 0,57             | 0,06             | <b>0,31</b>      |
| <b>2,80</b> | 1,28             | 0,40             | 0,06             | <b>0,36</b>      |
| <b>3,00</b> | 0,91             | 0,29             | 0,06             | <b>0,43</b>      |
| <b>3,20</b> | 1,30             | 0,10             | 0,03             | <b>0,43</b>      |
| <b>3,40</b> |                  | 0,29             | 0,04             | <b>0,43</b>      |
| <b>3,60</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>3,80</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>4,00</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>4,20</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>4,40</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>4,60</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>4,80</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>5,00</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>5,20</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>5,40</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>5,60</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>5,80</b> |                  |                  |                  |                  |

Tableau 13 : Contraintes admissibles des minima

| Profondeur | $\sigma_a$ (Mpa) |
|------------|------------------|
| 0,20       | 0,8              |
| 0,40       | 0,8              |
| 0,60       | 0,8              |
| 0,80       | 0,8              |
| 1,00       | 0,8              |
| 1,20       | 0,8              |
| 1,40       | 0,8              |
| 1,60       | 0,8              |
| 1,80       | 0,8              |
| 2,00       | 0,8              |
| 2,20       | 1,2              |
| 2,40       | 0,8              |
| 2,60       | 1,2              |
| 2,80       | 1,6              |
| 3,00       | 1,6              |
| 3,20       | 1,2              |
| 3,40       | 20               |
| 3,60       |                  |
| 3,80       |                  |
| 4,00       |                  |
| 4,20       |                  |
| 4,40       |                  |
| 4,60       |                  |
| 4,80       |                  |
| 5,00       |                  |
| 5,20       |                  |
| 5,40       |                  |
| 5,60       |                  |
| 5,80       |                  |

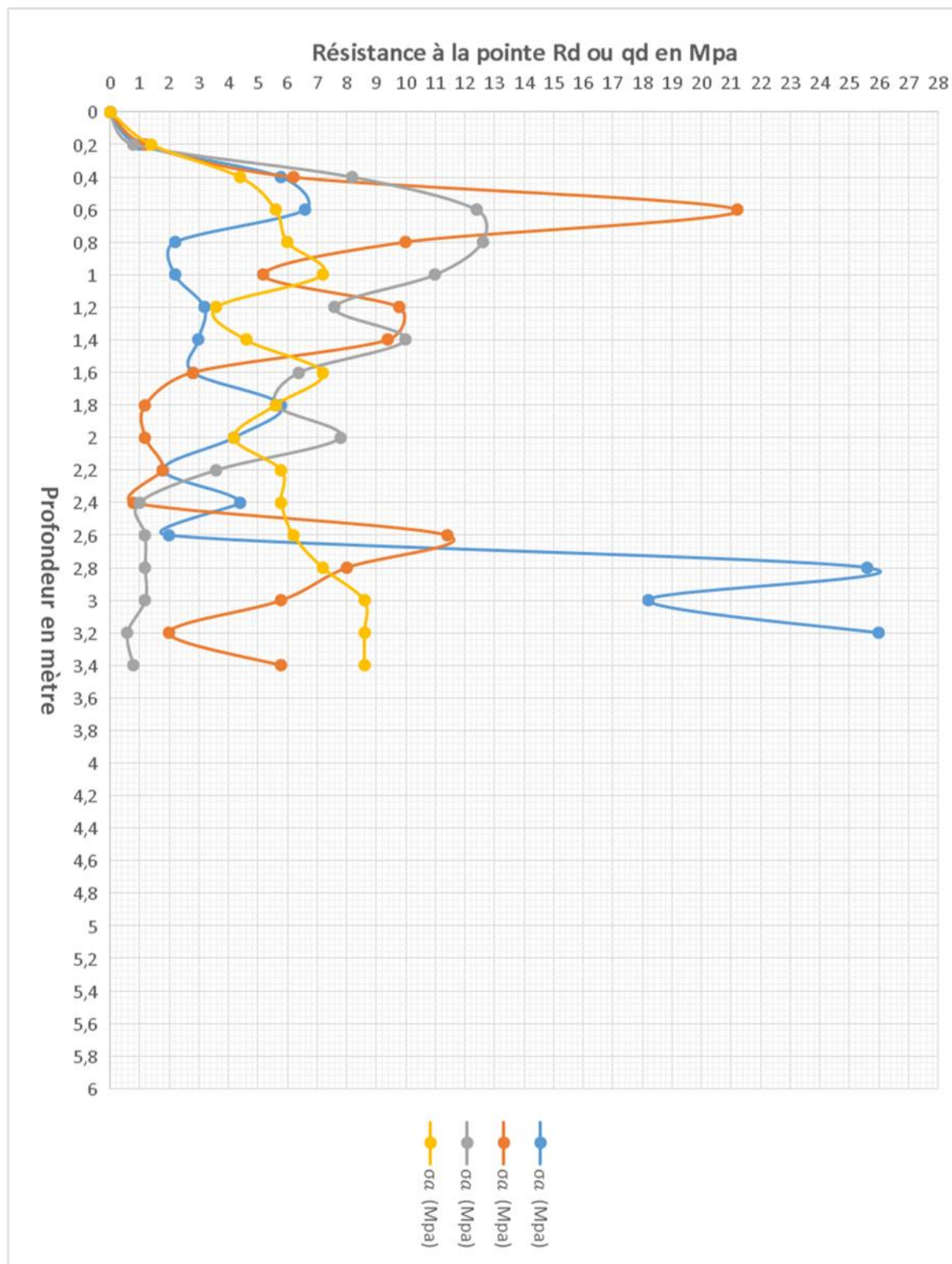


Figure 5 : Diagramme pénétrométrique des essais du site 4

#### INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Pour ce profil pénétrométrique condensé des essais, les diagraphies de ce sol en place présentent tellement d'anomalies qu'il nous sera difficile de bien décider sur l'interprétation de ces résultats. Mais du moins les diagraphies nous présentent

toutes une allure décroissante, ceci nous permet de dire qu'on est dans un sol boueux ou dans le sol où les propriétés géologiques ont été affectées (sol remanié) [3]. Nous constatons aussi que les essais ont été arrêtés en cours, c'est-à-dire à partir de la profondeur 3,4 m ; nous n'avons plus la présence d'un quelconque type de sol. Ce qui nous amène à conclure qu'on est en présence de l'eau.

A ce niveau, nous envisageons deux solutions :

- ✓ Soit, approfondir les études sur ce site, c'est-à-dire aller en profondeur (augmentation du nombre des tiges) pour avoir une suite géologique à cet endroit afin de pouvoir prendre une bonne décision ;
- ✓ Soit, aller un peu plus loin de la rive pour avoir plus ou moins un sol ferme ; dans ce cas on devra ramener l'ouvrage d'accostage jusqu'à cet endroit.

**Site 5 : CHANTIER/ PONT TSHONDO**

**Tableau 14 : Synthèse des contraintes admissibles**

| Profondeur  | PD1              | PD2              | PD3              | PD4              |
|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|             | $\sigma_a$ (Mpa) | $\sigma_a$ (Mpa) | $\sigma_a$ (Mpa) | $\sigma_a$ (Mpa) |
| <b>0,20</b> | 1,00             | 0,03             | 0,04             | <b>0,04</b>      |
| <b>0,40</b> | 0,39             | 0,39             | 0,40             | <b>0,16</b>      |
| <b>0,60</b> | 0,31             | 1,03             | 0,42             | <b>0,18</b>      |
| <b>0,80</b> | 0,12             | 0,56             | 0,66             | <b>0,30</b>      |
| <b>1,00</b> | 0,11             | 0,23             | 0,50             | <b>0,39</b>      |
| <b>1,20</b> | 0,15             | 0,46             | 0,38             | <b>0,16</b>      |
| <b>1,40</b> | 0,15             | 0,47             | 0,50             | <b>0,23</b>      |
| <b>1,60</b> | 0,14             | 0,14             | 0,32             | <b>0,36</b>      |
| <b>1,80</b> | 0,29             | 0,06             | 0,28             | <b>0,28</b>      |
| <b>2,00</b> | 0,21             |                  | 0,39             | <b>0,21</b>      |
| <b>2,20</b> |                  |                  | 0,18             | <b>0,29</b>      |
| <b>2,40</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>2,60</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>2,80</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>3,00</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>3,20</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>3,40</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>3,60</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>3,80</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>4,00</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>4,20</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>4,40</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>4,60</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>4,80</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>5,00</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>5,20</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>5,40</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>5,60</b> |                  |                  |                  |                  |
| <b>5,80</b> |                  |                  |                  |                  |

*Tableau 15 : Contraintes admissibles des minima*

| Profondeur | $\sigma_a$ (Mpa) |
|------------|------------------|
| 0,20       | 1,6              |
| 0,40       | 1,2              |
| 0,60       | 0,8              |
| 0,80       | 0,8              |
| 1,00       | 0,8              |
| 1,20       | 0,8              |
| 1,40       | 1,6              |
| 1,60       | 1,6              |
| 1,80       | 1,6              |
| 2,00       | 4                |
| 2,20       | 20               |
| 2,40       |                  |
| 2,60       |                  |
| 2,80       |                  |
| 3,00       |                  |
| 3,20       |                  |
| 3,40       |                  |
| 3,60       |                  |
| 3,80       |                  |
| 4,00       |                  |
| 4,20       |                  |
| 4,40       |                  |
| 4,60       |                  |
| 4,80       |                  |
| 5,00       |                  |
| 5,20       |                  |
| 5,40       |                  |
| 5,60       |                  |
| 5,80       |                  |

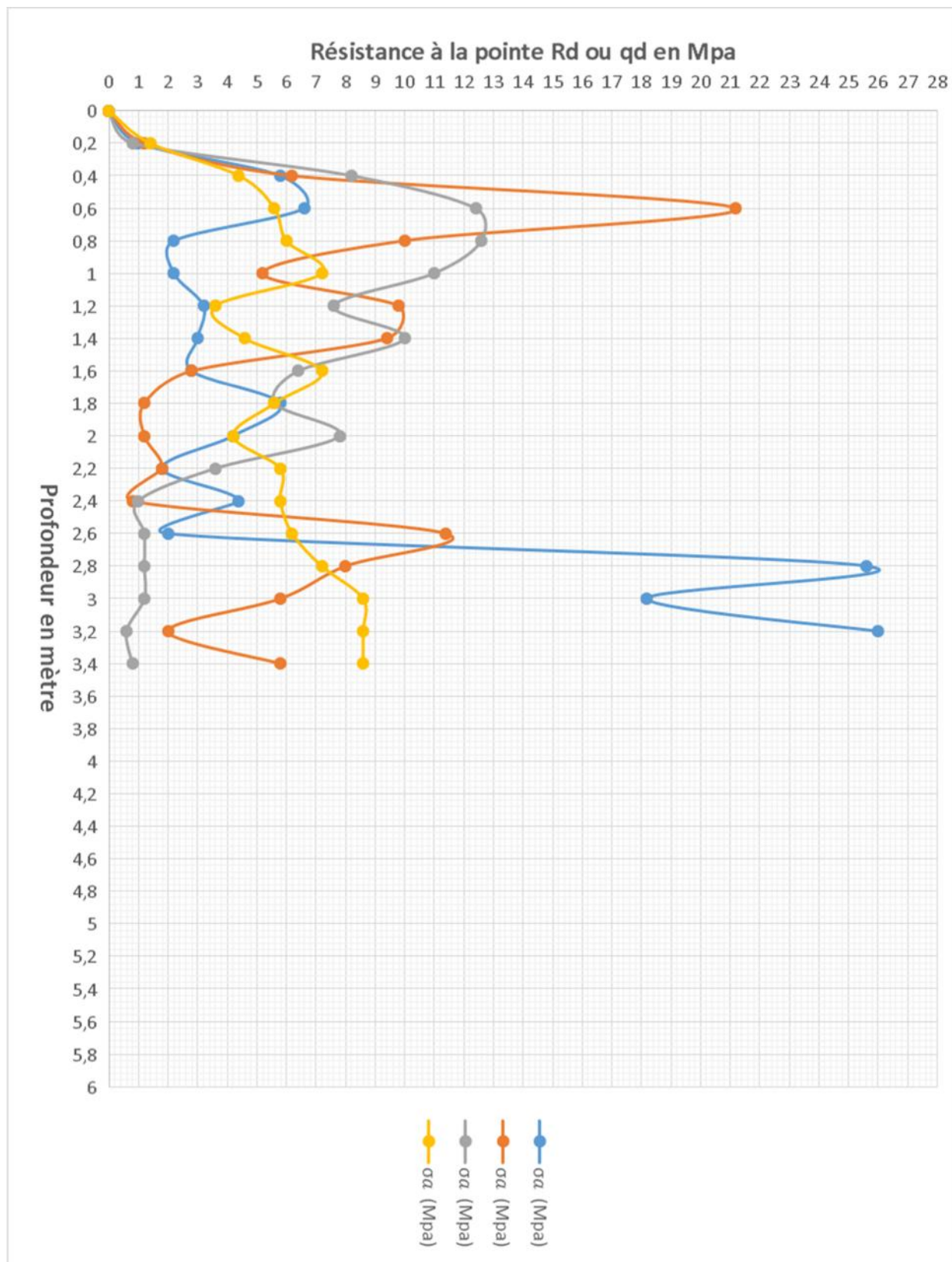


Figure 6 : Diagramme pénétrométrique des essais du site 5

## INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Pour ce profil, nous nous retrouvons dans le même cas que le diagramme précédent, toutes les décisions prises pour ce dernier seront applicables aussi à ce sol.

## 4 CONCLUSION

L'objectif de cette étude consistait à analyser le comportement géotechnique de sol le long de la rivière Lubumbashi en vue d'y la construction des ouvrages portuaires.

Cela nous a permis d'interpréter les essais effectués in situ (DPT) afin d'en ressortir le profil des couches constituant le sol en place.

Eu égard aux différents résultats fournis par ces essais de pénétration, nous pouvons dire que nous sommes dans une zone dont les portances ne sont pas suffisantes.

De ce fait, notre choix sera donc porté sur les ouvrages d'accostage sur sol de faible portance. Nous avons opté pour les quais en rideaux de palplanches parce que, les quais constitués par de rideau de palplanches métalliques ancré sur un rideau arrière, sont utilisés lorsque le terrain naturel offre une portance insuffisante pour supporter un ouvrage massif, mais possède des caractéristiques géotechniques permettant d'offrir une butée au pied du rideau (côté bassin) capable d'équilibrer la poussée du remblai. C'est le cas de sols sableux, de marnes ou d'argiles suffisamment compactes. Ce qui pour notre site.

## REFERENCES

- [1] Assani, A. A. (1998). L'état de l'environnement en République Démocratique du Congo à l'aube du troisième millénaire: Thème 2. La pollution des eaux, des sols et de l'air en République Démocratique du Congo. Res. 56, 15-20.
- [2] Bruneau J.C. (1983). Cartographie de l'environnement et aménagement urbain à Lubumbashi, dans *Revue internationale d'écologie et de géographie tropicales* 1(4): 19-47.
- [3] HERMIME M. (2012), Etude de l'interaction du sol de fondation avec les ouvrages portuaires utilisant les pieux, Thèse de doctorat défendue à l'université MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU.
- [4] LEPLAT J., (1965) : Limon et Loess. Laboratoire routiers de pont et chaussées, Ref 392.
- [5] Mukoko G. (2014). Comportement des sols latéritiques compactés dans les remblais et digues de retenue des rejets miniers du Katanga (R.D.C), Thèse de doctorat, Presse universitaire de Louvain, Dépôt légal D/2014/9964/30, ISBN 978-287558-314-7, Diffusion universitaire Ciaco, [www.i6doc.com](http://www.i6doc.com), Belgique.
- [6] Mukoko G., Thimus J.F.; Ngoie D., (2015). Interaction lateritic soil –concentrators' discharges: what impact(s)? In *Proceedings of the 16 African Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Innovative geotechnics for Africa Tunisia 27-30 april, 2015* © ISBN: 978-9938-12-936-6.
- [7] NAWAJ T. (2011) : Caractérisation hydrogéologique du système aquifère du bassin versant de la rivière Lubumbashi, Mémoire en Géologie.
- [8] Petit P., Bukome E., Dibwe D.M. et Kalaba M., (2003). Ménages de Lubumbashi entre précarité et recomposition, l'Harmattan. p 81 à 150.
- [9] PIALY P., (2009). Étude de quelques matériaux argileux du site de Lembo (Cameroun): minéralogie, comportement au frittage et analyse des propriétés d'élasticité. Thèse, Université de Limoges.
- [10] WASCHOWSKI E. (1979). Le pénétromètre dynamique

## Epidémiologie de la schistosomiase dans la localité d'Ahoué au sud de la Côte d'Ivoire

### [ Epidemiology of schistosomiasis in Ahoué, southern Côte d'Ivoire ]

**N. Jean-Paul N'GBESSO<sup>1</sup>, Nicaise Aya N'GUESSAN<sup>1</sup>, Rufin Kouassi ASSARÉ<sup>1-2-3</sup>, Mathieu Niangoran ORSOT<sup>1</sup>, Kouamé N'DRI<sup>4</sup>,  
and Ahoua YAPI<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratoire de Zoologie et Biologie Animale,  
Université Félix Houphouët Boigny,  
22 B.P. 582, Abidjan 22, Côte d'Ivoire

<sup>2</sup>Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire,  
01 B.P. 1303, Abidjan 01, Côte d'Ivoire

<sup>3</sup>Department of Epidemiology and Public Health,  
University of Basel, Swiss Tropical and Public Health Institute,  
P.O. Box, CH-4002 Basel, Switzerland

<sup>4</sup>Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection,  
Université Félix Houphouët-Boigny,  
Abidjan, Côte d'Ivoire

---

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Schistosomiasis is a considerable public health problem in Côte d'Ivoire, particularly in rural area. This study was carried out in location of Ahoué southern Côte d'Ivoire, sub-prefecture of Brofodoumé. The objective was to assess the epidemiology of schistosomiasis among school children in Ahoué located near a dam. Overall, 122 school children provided urine and stool sample. Stool samples were subjected to the method of Kato-katz, while urines samples analysed using urine filtration method. The results of the analyses of the urine and the stool revealed that the prevalence of urinary schistosomiasis and intestinal schistosomiasis was 24, 59% and 6, 56% respectively. The differences between the prevalence of schistosomiasis, the sex and the age brackets are not significant ( $P > 0,05$ ). Of all infected children, more half (73, 33%) had light parasite density for urinary schistosomiasis and high parasite density (50%) for intestinal schistosomiasis. A questionnaire was administered to collect relevant information for schistosomiasis transmission. Principal factors of transmission whose frequentation of the dam, age bracket and fact of urinating in the dam were accused. This study was used to assess the level of endemicity of schistosomiasis and will allow considering the appropriate means of checking this disease.

**KEYWORDS:** Côte d'Ivoire, schistosomiasis, intestinal, urinary, Ahoué.

**RESUME:** La schistosomiase est un problème de santé publique en Côte d'Ivoire surtout chez les populations en zones rurales. Cette étude a été menée dans la localité d'Ahoué au sud de la Côte d'Ivoire. Elle a pour but d'évaluer le statut épidémiologique de la schistosomiase des enfants d'âge scolaire de cette localité à proximité d'un barrage. L'enquête a concerné 122 élèves échantillonnés dans les 2 écoles Ahoué 1 et 2. Des prélèvements d'urines et de selles ont été effectués. L'analyse des selles a été faite par la méthode de KATO-KATZ et celle des urines par la filtration d'urine. Les résultats des analyses d'urines et des selles ont révélé respectivement une prévalence de 24,59% pour la schistosomiase urinaire et une prévalence de 6,56% pour

la schistosomiase intestinale. La prévalence de la schistosomiase ne diffère pas significativement selon le sexe et la tranche d'âge. La majorité des enfants infestés avait une densité d'infestation faible (73,33%) pour la schistosomiase urinaire et une forte infestation (50%) pour la schistosomiase intestinale. Un questionnaire a été adressé aux élèves afin de recueillir des informations sur la transmission de la schistosomiase. Les principaux facteurs de transmission dont la fréquentation du barrage, la tranche d'âge et le fait d'uriner dans le barrage ont été incriminés.

Cette étude a permis d'évaluer le niveau d'endémicité de la schistosomiase dans cette localité et permettra d'envisager des moyens adéquats pour la lutte contre cette parasitose.

**MOTS-CLEFS:** Côte d'Ivoire, schistosomiase, urinaire, intestinale, Ahoué.

## 1 INTRODUCTION

La schistosomiase est une maladie parasitaire eau dépendante très répandue dans le monde, surtout en Afrique sub-Saharienne [1]. Elle y représente un problème de santé publique majeur [1], [2]. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la schistosomiase est une pathologie chronique provoquée par des vers du genre *Schistosoma*. Elles sont responsables de la bilharziose dans 78 pays dont 52 sont plus infectés. Le nombre de personnes infectées est estimé à plus de 250 millions en 2010 [3]. Plus de 90 % des personnes qui ont besoin d'un traitement se trouvent en Afrique [1], [4].

Le praziquantel reste actuellement le médicament préconisé par l'OMS dans la stratégie de lutte contre cette pathologie [5]. Cela s'explique par son efficacité contre toutes les espèces de vers adultes de *Schistosoma* parasitant l'homme et son coût abordable (Le coût moyen de traitement au praziquantel d'un enfant d'âge scolaire est d'environ 0,2 \$) [6]. Cette stratégie met l'accent sur la morbidité en fonction du niveau d'endémicité de la zone (Endémicité forte = prévalence  $\geq 50\%$  ; Endémicité modérée =  $50\% > \text{prévalence} \geq 10\%$  ; Endémicité faible = prévalence  $\leq 10\%$ ) [7], [8]. Dans les communautés d'endémicité forte les enfants d'âge scolaire et adultes à haut risque doivent recevoir un traitement annuel de praziquantel; dans les communautés d'endémicité modérée les enfants d'âge scolaire doivent être traités une fois tous les deux ans; les enfants d'âge scolaire des communautés de faibles endémicités doivent être traités une fois à l'entrée de l'école et une autre à la fin de la scolarité [9].

En Côte d'Ivoire, la bilharziose existe sous deux formes [10], [11], [12]. La schistosomiase à *Schistosoma haematobium* dont la manifestation principale est la présence de sang dans les urines [13] et la schistosomiase à *Schistosoma mansoni* qui se manifeste par des selles glaireuses avec la présence de sang.

Dans ce pays, les foyers endémiques sont généralement concentrés dans les milieux favorables au développement des mollusques hôtes intermédiaires [14].

Des études parasitologiques ont montré que la schistosomiase y sévit à l'état endémique et serait même en pleine expansion [15], [6]. Les prévalences observées sont généralement élevées dans les localités autour des aménagements hydrauliques [16], [17]. Ce sont en général des lieux de référence pour les populations environnantes en matière de besoin en eau, multipliant ainsi les contacts hommes-eau. Lesquels contacts sont à l'origine des infestations et réinfestations permanentes responsables des morbidités élevées. Le but de ce travail est d'évaluer la prévalence, l'intensité et d'établir le profil épidémiologique de cette pathologie dans le village d'Ahoué. Les objectifs étaient de :

- (I) déterminer les prévalences de la schistosomiase urinaire et la schistosomiase intestinale;
- (II) déterminer leurs charges et leurs intensités parasitaires;
- (III) comparer le niveau d'endémicité de la schistosomiase urinaire et schistosomiase intestinale.

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

L'étude s'est déroulée en Octobre 2014 à Ahoué, un village situé au sud de la Côte d'Ivoire dans la Sous-préfecture de Brofodoumé dans la région de la Mé (Figure 1). Elle se situe entre  $5^{\circ} 20'$  et  $5^{\circ} 38'$  de latitude Nord et  $3^{\circ} 48'$  et  $3^{\circ} 49'$  de longitude Ouest. Elle compte 2229 habitants, selon le recensement de 1998 [18]. Le climat de la localité d'Ahoué est proche de celui de la ville d'Abidjan, qui est de type équatorial [19] caractérisé par deux saisons de pluie (une petite de Septembre à Octobre, une

grande d'Avril à Juillet) entrecoupées par deux saisons sèches (une petite de juillet à Août, une grande de Novembre à Mars). La température oscille entre 25 et 33°C, avec une forte pluviométrie de plus de 1500 mm de pluies par an [19].

## 2.2 METHODOLOGIE DE COLLECTE DES DONNEES

Une autorisation de la chefferie du village a été obtenue, ce qui a permis la diffusion de l'information concernant les méthodes et objectifs de l'étude par le canal de la radio locale. Les consentements des enseignants et des parents d'élèves ont été obtenus. Les participations étaient volontaires. Une visite de classe au niveau des écoles primaires publiques Ahoué 1 et 2 a été effectuée au cours de laquelle les élèves ont été sensibilisés sur les notions d'hygiène.

Après une explication de l'étude, aux enseignants ainsi qu'aux élèves, dans chaque classe, du cours primaire de la 1<sup>ère</sup> année (CP1), au cours moyen 2<sup>ème</sup> année (CM2) au niveau des écoles primaires publiques Ahoué 1 et Ahoué 2, un effectif de 10 élèves par classe a été sélectionné en raison de 5 élèves par sexe. Les participations étaient volontaires.

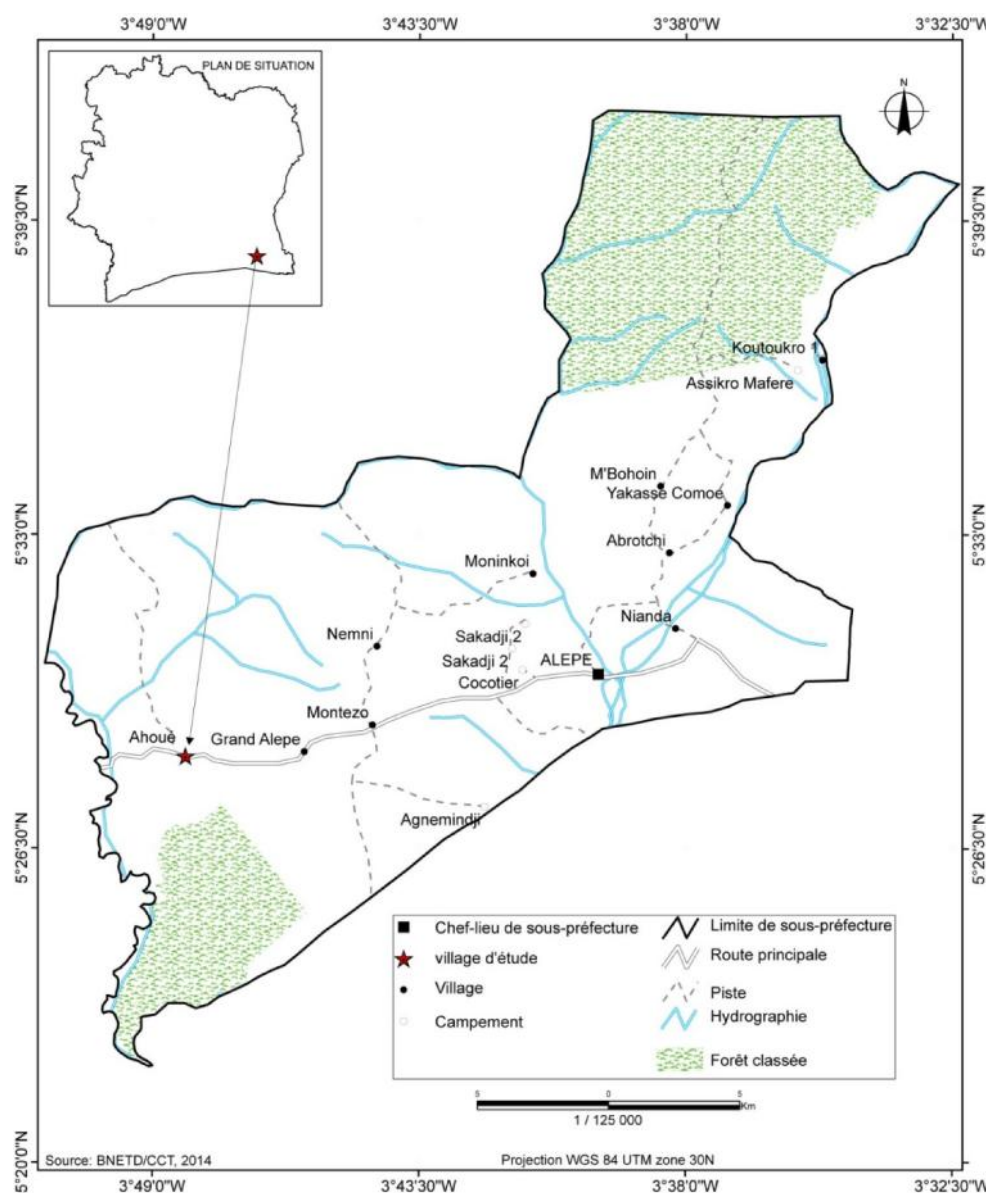


Figure 1. Présentation de la zone d'étude

## 2.3 COLLECTE ET ANALYSE DES ECHANTILLONS D'URINES ET DE SELLES

Avant les prélèvements, les objectifs de l'étude et les procédures à suivre ont été expliqués en des termes plus simples accessibles aussi bien aux maîtres et qu'aux élèves. Deux pots de 125 ml ont été distribués à chaque élève pour y recueillir leurs urines et les selles. Les échantillons (urines et selles) ont été collectés entre 10 et 14 h. Les examens parasitologiques des urines et des selles ont été pratiqués sur le terrain. Chaque échantillon d'urine a été testé suivant la méthode filtration [20]. En bref, 10 ml ont été filtrés à travers un filtre Nytrex<sup>®</sup>, à l'aide d'une seringue et d'une porte filtre Swinnex Millipore. L'observation des filtres et le comptage des œufs de *S. haematobium* a été faite au microscope après la coloration des œufs au lugol. L'analyse des selles s'est faite selon la technique standard de KATO-KATZ [19] pour la recherche des œufs de *S. mansoni*. Le nombre d'œufs émis par élève a été déterminé puis enregistré sur la fiche de résultats. Au terme de la lecture, 10% des lames lues ont été relues en vue de contrôler la qualité de la lecture. Un questionnaire a été également administré aux élèves participants. Les réponses recueillies ont été faites dans une grande confidentialité. Il n'y a pas eu de difficultés de communication à cause niveau moyen en français des élèves. Cela est dû à la proximité de cette localité de la capitale économique (Abidjan).

A la fin de l'étude, chaque participant a reçu un traitement au praziquantel à la dose de 40 mg par kg de poids corporel [20].

## 2.4 EXPLOITATION ET ANALYSE DES DONNEES

La saisie des données a été effectuée avec le logiciel Excel. Le test de KHI-DEUX ( $\chi^2$ ) a été utilisé pour comparer les valeurs de prévalence entre les sexes, les tranches d'âge. Les interprétations sont basées sur la valeur du p et dans un intervalle de confiance (IC) de 95%. La carte numérique de la localité a été produite avec le logiciel ArcGIS. Les moyens arithmétiques des œufs de *S. mansoni* et *S. haematobium* ont été calculés. Les infections ont été catégorisées selon les recommandations de l'OMS [23]. L'intensité d'infection de *S. mansoni* comprend trois catégories : Forte intensité (1-99 œufs par gramme de selles), intensité modérée (100-399 œufs par gramme de selles) et l'intensité légère ( $\leq 400$  œufs par gramme de selles). Quant à l'infection *S. haematobium*, elle est soit de forte intensité (nombre d'œufs supérieurs ou égale à 50 / 10 ml d'urine) ou d'intensité légère (nombre d'œufs inférieur à 50 / 10 ml d'urine [24].

# 3 RESULTATS

## 3.1 EXAMEN D'URINES

L'enquête parasitologique menée a été faite sur 122 élèves (62 garçons et 60 filles) dont l'âge varie de 5 à 14 ans. Les échantillons d'urines ont subi le test à la bandelette réactive, 32 (26,23%) ont réagi positivement alors que 8 (6,55%) ont montré la présence de trace d'hématurie. Sur 122 élèves enregistrés et examinés, 30 étaient porteurs d'œufs de *S. haematobium* soit un taux de prévalence de 24,59%. Les garçons (29, 0 3 %) sont plus parasités que les filles (20,00%) (Tableau 1).

Dans l'ensemble, 22 élèves infectés soit 73,33% ont une infection légère, tandis que 8 élèves soit 26,69% ont présenté une forte infection (Figure. 2).

**Tableau 1. Prévalence de la schistosomiase urinaire en fonction du sexe et de la tranche d'âge**

| Indicateurs                             | Tranches d'âge |            | Sexe     |         | Total |
|-----------------------------------------|----------------|------------|----------|---------|-------|
|                                         | 5 - 9 ans      | 10 -14 ans | Masculin | Féminin |       |
| Effectifs examinés                      | 81             | 41         | 62       | 60      | 122   |
| Effectifs des Positifs                  | 16             | 14         | 18       | 12      | 30%   |
| Prévalence de <i>S. haematobium</i> (%) | 19, 75         | 34,15      | 29,03    | 20,00   | 24,59 |

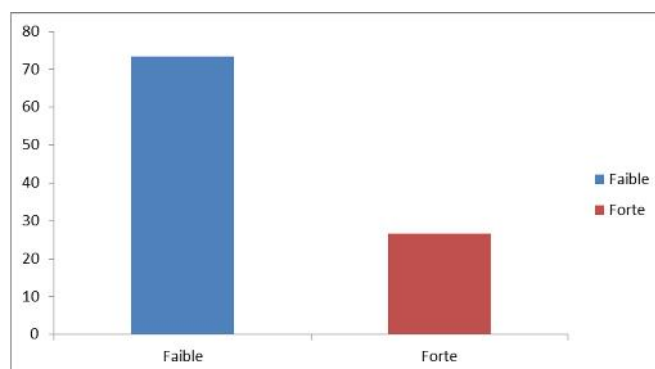


Figure 2. Catégories d'intensité de l'infection à *S. haematobium* des élèves

### 3.2 EXAMEN DES SELLES

Au total, 8 élèves des 122 enfants examinés sont porteurs de *S. mansoni*. Ce qui correspond à une prévalence de *S. mansoni* de 6,56%. Une prévalence de *S. mansoni* était supérieure à celle des filles (8,06% versus 5%) (Tableau 2). Il n'y pas de différence significative selon le sexe. Cependant, La charge parasitaire des élèves infestés est de 50% (4 élèves) pour les infestations fortes, 12,5% (1 élève) pour les intensités modérées et 37,5 % (3 élèves) pour les faibles, (Figure 3).

Tableau 2. Prévalence de la schistosomiase intestinale en fonction du sexe et de la tranche d'âge

| Indicateur                          | tranches d'âge |            | Sexe     |         | Total |
|-------------------------------------|----------------|------------|----------|---------|-------|
|                                     | 5 - 9 ans      | 10 -14 ans | Masculin | Féminin |       |
| Effectif examinés                   | 81             | 41         | 62       | 60      | 122   |
| Effectif des Positifs               | 3              | 5          | 5        | 3       | 8     |
| Prévalence de <i>S. mansoni</i> (%) | 3,20%          | 12,20%     | 8,06     | 5%      | 6,56% |

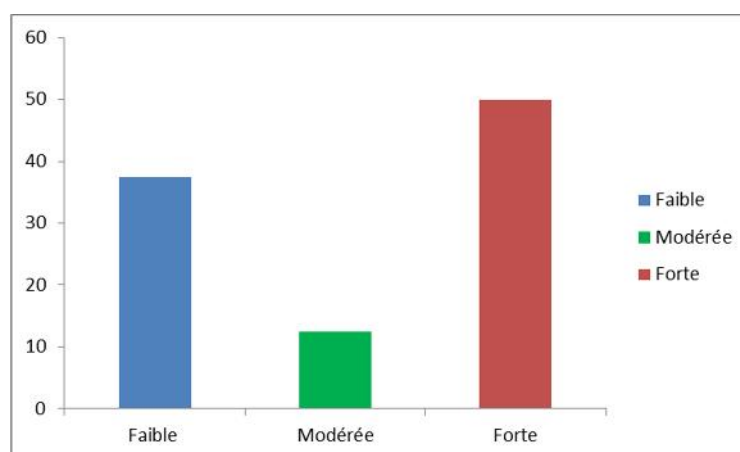


Figure 3. Catégorie d'intensité de l'infection à *S. mansoni* des élèves

### 3.3 COMPARAISON SCHISTOSOMA HAEMATOBIIUM ET SCHISTOSOMA MANSONI

La figure 4 montre que la prévalence de la schistosomiase à *S. haematobium* chez les garçons est supérieure à celle des filles, même constat pour la Schistosomiase à *S. mansoni*. Mais cette différence n'est pas significative ni pour *S. haematobium* ( $\chi^2 = 1,3415$ ,  $p = 0,247$ ), ni pour *S. mansoni* ( $\chi^2 = 0,4673$ ,  $p = 0,494$ ).

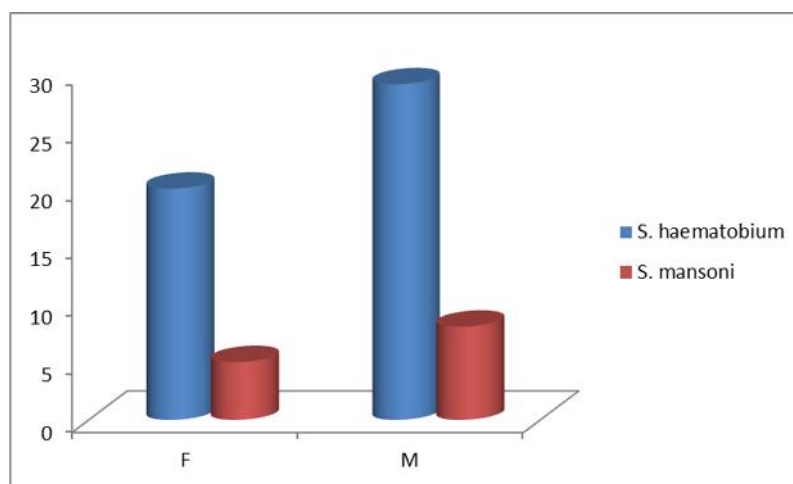


Figure 4. Prévalence de la schistosomiase en fonction du sexe

Au niveau de l'âge, la tranche d'âge de 10 à 14 ans présente les plus forts taux de prévalence pour *S. haematobium* et pour *S. mansoni* (Figure 5). Les plus faibles s'observent dans les tranches d'âge de 5 à 9 ans. Cependant, l'analyse statistique montre qu'il n'existe pas de différence significative entre les tranches d'âge tant pour *S. haematobium* ( $X^2 = 3,0411$ ,  $p = 0,081$ ) et pour *S. mansoni* ( $X^2 = 3,2033$ ,  $p = 0,073$ ).

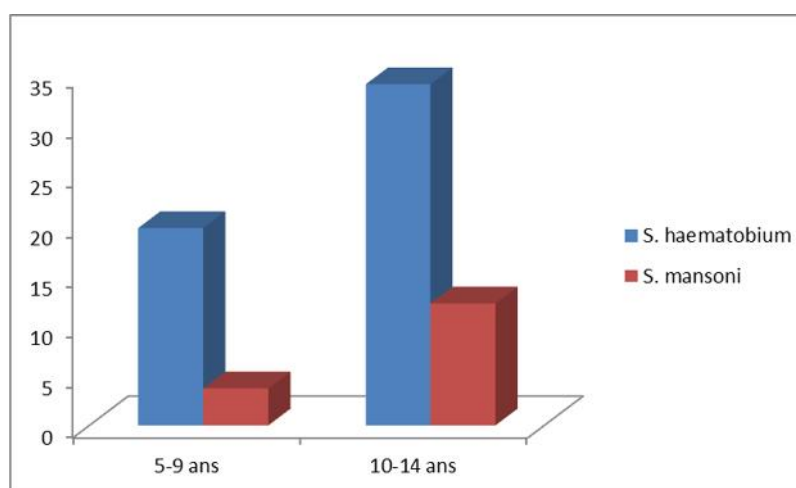


Figure 5. Prévalence de la schistosomiase urinaire et intestinale en fonction de l'âge

La figure 6 présente la variation de la prévalence de *S. haematobium* et *S. mansoni* en fonction de l'âge. Cette variation est beaucoup accentuée dans la tranche d'âge de 10 à 14 ans.

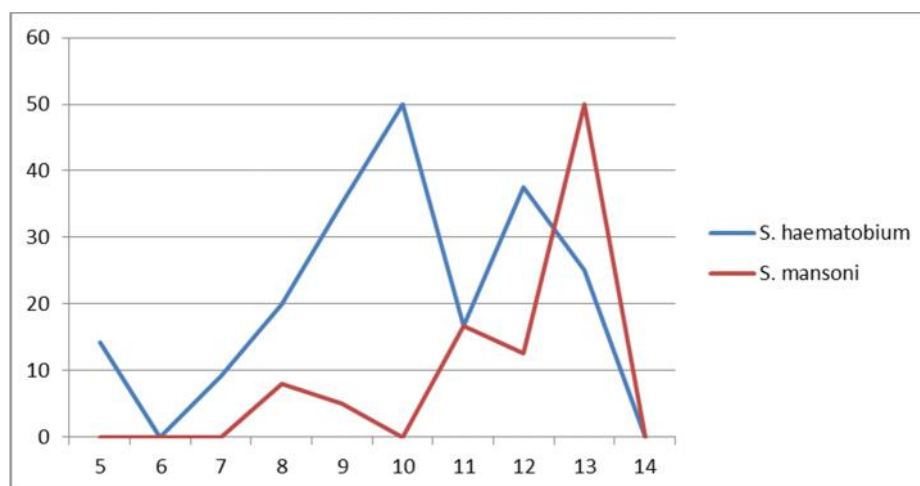


Figure 6. Variation de la prévalence de *S. haematobium* et *S. mansoni* en fonction de l'âge

### 3.4 FACTEURS FAVORISANT LA TRANSMISSION DE LA BILHARZIOSE URINAIRE

#### 3.4.1 PRATIQUE LIÉE À L'EAU

L'eau potable constitue la principale source d'eau de boisson de la majorité des personnes interrogées, soit 69,67%. Cette eau est fournie par une pompe. Elle est payante et non permanente.

Un total de 122 personnes interrogées, soit 80,32% fréquentent le barrage. Parmi ces 122 personnes, 35 (28,68%) fréquentent le barrage à toute heure.

La catégorie d'âge de 5 à 9 ans regroupe la majorité d'écopier fréquentant le barrage ressentant plus de douleur lors de la miction. Elles sont représentées par 61 personnes sur les 98 soit 62,24%. Un taux de 69,67% des personnes fréquentent le barrage pour des activités domestiques et de loisirs. Ces activités nécessitent un temps de contact homme-eau prolongé. La majorité des personnes qui ont une activité liée à l'eau, soit 98 (80,32%) personnes, urines au bord de l'eau.

#### 3.4.2 PRATIQUE DE SANTÉ

Le nombre de personnes déclarant avoir pris un déparasitant parmi les 122 individus questionnés est de 80 avec une prévalence de 65,57%. Le maximum des déparasitages a eu lieu entre 1 an et 6 mois, chez 64 sujets (52,45%).

## 4 DISCUSSION

Cette étude a mis en évidence dans cette zone les taux de prévalence suivants : 24,59 % et de 6,56 % respectivement pour la schistosomiase uro-génitale et la schistosomiase intestinale.

Les résultats ont montré qu'Ahoué, la schistosomiase à *S. haematobium* est d'endémicité modérée tandis que la schistosomiase à *S. mansoni* est de faible endémicité [25]. Cette observation serait surtout due à la campagne de traitement de masse au praziquantel effectuée le Programme National de Lutte contre la schistosomiase, les Géohelminthiases et la Filariose lymphatique.

L'étude a révélé que la localité d'Ahoué située à proximité d'un barrage n'est pas un foyer à forte prévalence. Par contre, des études antérieures ont montré des résultats contraires dans certaines localités dans la périphérie d'un barrage [17].

Une étude antérieure dans certaines localités autour du barrage de Taabo dans les localités d'Ahondo, Taabo village et de Léléblé a révélé une endémicité similaire pour la schistosomiase à *S. haematobium*. [26]. Par contre, une forte endémicité a été observée dans les localités de Sahoua et Tohokini. [26].

Nous notons une prédominance de la schistosomiase à *S. haematobium* par rapport à la bilharziose à *S. mansoni*. Des résultats semblables ont été rapportés dans les localités d'Azaguié M' Bromé et d'Azaguié makougué. [27]. Ces résultats ont été également constatés dans les villes d'Agboville et d'Adzopé [28].

Nos résultats montrent une augmentation du taux d'infestation en fonction de l'âge. Cette observation a été constatée par certains auteurs dans les villes d'Agboville et d'Adzopé [28].

L'intensité d'infestation correspond au nombre d'œufs excrétés dans les urines ou selles des personnes infectées. [28], [29]. Ainsi, l'intensité d'infection est majoritairement légère pour la bilharziose urinaire et dominée par une infection forte pour la bilharziose intestinale. L'infection légère s'explique par une faible parasitémie alors que celle de l'infection forte est due par une parasitémie élevée.

Ces résultats sont contraires ont été rapportés Azaguié où les résultats parasitologiques ont montré une infection légère pour la schistosomiase à *S. haematobium* et *S. mansoni* [27].

D'après nos résultats, les prévalences de l'infestation à *S. haematobium* et *S. mansoni* sont plus élevées dans la classe d'âges de 10-14 ans que dans celle de 5-9 ans. Cette observation a été mentionnée par certaines études à Agboville et Adzopé qui ont affirmé que les enfants plus âgés représentent la fraction la plus active du réservoir de parasite humain [28], [29]. Ce constat s'expliquerait par le fait que ces enfants ont des comportements à risque qui les exposent à l'infestation contrairement aux adultes dans la communauté. Parmi ces comportements, il a été noté le fait de réaliser des activités qui nécessitent assez de temps et aux heures chaudes de la journée au barrage. D'où la possibilité d'infection et de réinfection. Il s'y ajoute aussi la possibilité de contaminer le milieu par le fait qu'ils urinent ou défèquent dans l'eau. Ce même constat a été démontré à Azaguié [27] et dans d'autres localités au Burkina Faso [30] qui ont montré une liaison significative entre la schistosomiase et l'âge [29]. Des travaux effectués antérieurement montrent que l'infection de la schistosomiase diminue avec une réduction du contact hommes-eau [31].

L'étude a montré une prévalence de l'infection à *S. haematobium* et *S. mansoni* plus élevée chez les garçons que chez les filles. Cependant, quand nous croisons le sexe et la bilharziose, la différence observée n'est pas significative pour les deux formes de bilharzioses.

Ces résultats sont en contradiction avec ceux obtenus Agboville et à Adzopé qui a trouvé une différence significative entre les garçons parasités et les filles ( $p < 0,01$ ) [29].

L'existence d'élèves infectés malgré les traitements de masse implique l'existence d'un milieu de réinfection rapide. Le questionnaire a permis d'incriminer le barrage comme milieu favorable au développement des mollusques donc propice à la transmission des cercaires. Cela a été prouvé dans d'autres études antérieures dans plusieurs localités de la Côte d'Ivoire où l'existence d'un milieu favorable au développement des mollusques était primordial à la transmission de cette pathologie [32].

Le manque d'hygiène, l'accès limité à l'eau potable et à l'assainissement pourraient être également les facteurs associés à la transmission de cette maladie dans cette localité. Il convient de noter que les réponses aux questionnaires administrés aux élèves participants a permis de monter un problème crucial d'eau à Ahoué. Cette situation rend le barrage source d'approvisionnement de cette localité en eau. Ce qui multiplie les contacts Homme-eau. Par conséquent, les enfants comme adultes constituent la principale source d'infection. Ce constat a été fait par certains auteurs [33].

## CONCLUSION

La schistosomiase à *S. haematobium* et *S. mansoni* sont des affections qui sévissent dans la localité d'Ahoué (Côte d'Ivoire). Cette enquête préliminaire a permis de trouver des taux de prévalence 24,59% pour la schistosomiase urinaire et 6,56% pour la schistosomiase intestinale. Elle a fait l'état des lieux sur la schistosomiase dans cette localité, en faisant ressortir les principaux facteurs environnementaux associés à la transmission. Ces résultats serviront à sensibiliser les pouvoirs publics et la population et permettra à l'élaboration d'un programme de lutte intégrée contre la bilharziose urinaire dans cette localité.

## REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à l'endroit de tous les directeurs, enseignants, autorités, villageois et élèves du village d'Ahoué. Nous remercions également les techniciens de laboratoire de Zoologie et de Biologie Animale et toute l'équipe du Programme National de Lutte Contre la Schistosomiase, les Géohelminthiases et la Filariose lymphatique.

## REFERENCES

- [1] OMS, 2016-Aide-mémoire N 115 <http://www.who.int/mediacentre/factsheet/fs115/fr/> consulté le 04 juillet 2016.
- [2] Engels D, Chitsulo L, Montresor A, Savioli L. The global epidemiological situation of schistosomiasis and new approaches to control and research. *Acta Tropica*, 82, pp 139–146, 2002.
- [3] Hotez PJ, Alvarado M, Basáñez M-G, Bolliger I, Bourne R, Boussinesq M, et al. The Global Burden of Disease Study 2010: Interpretation and Implications for the Neglected Tropical Diseases. *PLoS Negl Trop Dis* 8(7): e2865. doi:10.1371/journal.pntd.0002865, 2014
- [4] Van der Werf M. J., de Vlas S. J., Brooker S., Loman C.W.N., Nagelkerke N. J. D., Habbema J. D. F. & Engels D. Quantification of clinical morbidity associated with schistosome infection in sub-Saharan Africa. *Acta Tropica*, Vol. 86, pp.125-139, 2003.
- [5] WHO. The control of schistosomiasis: report of a WHO expert committee. WHO Tech Rep Ser 728: 1–114, 1985.
- [6] Thétiot-Laurent SA-L, Boissier J, Robert A, Meunier B. Schistosomiasis chemotherapy. *Angew Chem* 52: 7936–7956pp, 2013.
- [7] WHO Schistosomiasis: progress report 2001–2011, strategic plan 2012–2020. Geneva: World Health Organization, 2013.
- [8] WHO Schistosomiasis: population requiring preventive chemotherapy and number of people treated in 2010. *Wkly Epidemiol Rec* 87: 37–44pp, 2012.
- [9] OMS. La schistosomiase. <http://www.who.int>. Consulté le 20/10/2016.
- [10] N'Guessan A.N., La lutte contre les schistosomoses en Côte d'Ivoire : facteurs de complexité épidémiologique et contraintes opérationnelles de lutte. *Thèse de doctorat de l'Université de Cocody Abidjan, Côte d'Ivoire*. 149p, 2003.
- [11] N'Guessan N. A., Acka C. A., Utzinger J. et N'Goran K. E. Identification des régions à haut risque de schistosomoses en Côte d'Ivoire. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, Vol. 100, N°2, pp 119-123, 2007.
- [12] Nozais J.P, Danis M. & Gentilini M.,. Symptômes et évolution de l'infestation à *Schistosoma haematobium* vue en métropole, *Review Praticien*, pp 428-431, 1993
- [13] Garba A. Kinde-Gazard D., Makoutodé M., Boyer N., Ernould J. C., Chippaux J. P. & Massougbedji A. Evaluation préliminaire de la morbidité liée à *Schistosoma haematobium* et *Schistosoma mansoni* dans la zone du futur barrage d'Adjara au Bénin. *Cahier Santé*, vol.10, pp. 323-328, 2000
- [14] Gentilini M., Cames E., Danis M., Mouchet J., Duflo B., Lagardère B., Richard-Lenoble D. & Brucker G. Médecine-Sciences. 5<sup>e</sup> édition, *Médecine tropicale* Paris: Flammarion, 928p, 1993.
- [15] Assaré RK, Tian-Bi Y-NT, Yao PK, N'Guessan NA, Ouattara M, Yapi A, et al. Sustaining Control of Schistosomiasis Mansoni in Western Côte d'Ivoire: Results from a SCORE Study, One Year after Initial Praziquantel Administration. *PLoS Negl Trop Dis* 10(1): e0004329. 2016.
- [16] Abdel-Wahab M. F., Strickland G. T., El-Sahly A., El-Kady N., Zakaria S., Ahmed L. (Changing pattern of schistosomiasis in Egypt 1935-79. *Lancet*. 2(8136): pp 242-244, 1979
- [17] N'Goran E. K., Diabaté S., Utzinger J. & Sellin B. Changes in human schistosomiasis levels after the construction of two large hydroelectric dams in central Côte d'Ivoire. *Bull of the World Health Organization* 75: pp 541-545, 1997.
- [18] Anonyme, (1998). Recensement générale de la population et de l'habitat-Volume III : Données sociodémographiques et économiques des localités, Tome I : Résultats définitifs par localité région des lagunes, 43p.
- [19] Eldin M. Le climat. *Mémoire ORSTOM*, 50 : pp 50-73, 1971.
- [20] S. Plouvier, J.C. Levory, J. Coltte, A propos d'une technique simple de filtration des urines dans le diagnostic de la bilharziose urinaire en enquête de masse, *Méd. Trop*, 35, 229-230, 1975.
- [21] Katz N, Chaves A, Pellegrino J.. A simple device of quantitative stool thick-smear technique in *Schistosomiasis mansoni*. *Rev inst Med Trop Sao Paulo*, 14: pp 397 – 400, 1972.
- [22] WHO Prevention and control schistosomiasis and soil-transmitted helminthiasis : report of a WHO expert committee WHO tech Rep Ser 912: pp 1-57, 2002.
- [23] Montresor A, Crompton DWT, Hall A, Bundy DAP Savioli L. Guidelines for the evaluation of soil-transmitted Helminthiasis and Schistosomiasis and Community Level. A Guide for Managers of Control Programmes. *World Health Org*. Geneva. 1-45.pp 1998.
- [24] OMS Schistosomiase et géohelminthiases : prévention et lutte. Série de rapports technique, 912,68,2004.
- [25] OMS Lutte contre la schistosomiase. Série de Rapport Technique, 728, 129p, 1985.
- [26] Nicaise Aya N'GUESSAN1, Ahmadou GARBA2-3, Mathieu Niangoran ORSOT, and Eliézer Kouakou N'GORAN Evaluation de la morbidité échographique de la bilharziose urinaire chez les écoliers de 6 localités autour du barrage de Taabo (Côte d'Ivoire) *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 9 No. 1 Nov. 2014, pp. 307-316
- [27] Jean T. Coulibaly, Yves K. N'Gbesso, Nicaise A. N'Guessan, Mirko S. Winkler, Jürg Utzinger, and Eliezer K. N'Goran Epidemiology of Schistosomiasis in Two High-Risk Communities of South Côte d'Ivoire with Particular Emphasis on Pre-School-Aged Children *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 89(1), 2013, pp. 32–41

- [28] Adoubryn K. D., Ouhon J., Yapo C. G., Assoumou E. Y., Ago K. M. et Assoumou A. Profil épidémiologique des schistosomoses chez les enfants d'âge scolaire dans la région de l'Agnéby (sud-est de la Côte-d'Ivoire). *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, Vol. 99, N° 1, pp 28-31, 2005.
- [29] Adoubryn K.D., Allah-kouadio E., Penali L.K., Ouhon J., Koné M., Prévalence des porteurs d'œufs de *Schistosoma haematobium* chez des patients haématuriques en Côte d'Ivoire. *Médecine d'Afrique Noire*, vol 44, 4p, 1997.
- [30] Poda J. N., Sorgho H., Dianou D., Sawadogo B., Kambou T., Parent G. & Sondon B. Profil parasitologique de la schistosomose urinaire du complexe hydro-agricole du Sourou au Burkina Faso. *Bulletin de la Société de pathologie exotique*, vol. 94, n°1, pp. 21-24, 2001.
- [31] Gryseels B. La schistosomiase intestinale dans la plaine de la Ruzizi (Burundi) : prospection préliminaire. *Annales de la Société belge de médecine tropicale*, vol. 64, 249- 266 p, 1984.
- [32] N'Goran EK, Utzinger J, N'Guessan AN, Müller I, Zambélé K, Lohourignon KL, et al. réinfection avec *Schistosoma haematobium* après une chimiothérapie à base de l'école avec praziquantel dans quatre villages très endémiques en Côte d'Ivoire. *Trop Med Int Health* 6: 817-825, 2001.
- [33] Masaku J, Madigu N, Okoyo C, Njenga SM. Situation actuelle de *Schistosoma mansoni* et les facteurs associés à l' infection des deux années suivantes de masse programme d'administration de drogues chez les enfants des écoles primaires de Mwea système d'irrigation: une étude transversale. *BMC Public Health* 15: 739. 2015.

## Enquête ethnobotanique sur l'importance alimentaire et socio-économique des graines de (*Phaseolus lunatus* (L.)) consommées au Sud et Est de la Côte d'Ivoire

### [ Ethnobotanical on food important and economical social the seeds of (*Phaseolus lunatus* (L.)) consumed in South and East of Côte d'Ivoire ]

**Tchumou Messou, Yao N'zué Benjamin, Kossonou Yao Kamélé, Adingra Kouassi Martial-Didier, and Tano Kablan**

Laboratoire de Biochimie Alimentaire et Technologies des Produits Tropicaux, UFR des Sciences et Technologie des Aliments,  
Université Nangui-Abrégoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Protein-caloric malnutrition is very frequent in the Third World countries particularly in the rural zones. The seeds of leguminous plants, in particular, those of lima beans constitute a significant source of plant proteins for the human consumption. The purpose of this study is to contribute of food safety by the valorization of seeds of three cultivars (white, red and black) of *Phaseolus lunatus* (L.) with the view to their more rational use in the different diets. With this intention, an ethnobotanic survey carried out in Côte d'Ivoire (Southern and East), showed that the seeds of *P. lunatus* (L.) well known by the old people. 84.46 % of the questioned women have a better knowledge of seeds of *P. lunatus* (L.) than men questioned with a percentage of 65.59 %. The cultivars differ from an area with another. According to the ethnic groups, the seeds are consumed in various forms (pulp, paste and alimentarius complement) and each ethnic group has its vernacular name.

**KEYWORDS:** Malnutrition, Proteino-caloric, Food safety, *Phaseolus lunatus* (L.) and ethnobotanical.

**RÉSUMÉ:** La malnutrition protéino-calorique est très fréquente dans les pays en voie de développement particulièrement dans les zones rurales. Les graines des légumineuses, notamment, ceux du haricot de lima constituent une importante source de protéines végétales pour l'alimentation humaine. Cette étude a pour but de contribuer à la sécurité alimentaire par la valorisation des graines de trois cultivars (blanc, rouge et noir) de *Phaseolus lunatus* (L.) en vue de leur utilisation plus rationnelle dans les différents régimes alimentaires. Pour ce faire, une enquête ethnobotanique menée au Sud et à l'Est de la Côte d'Ivoire, a montré que les graines de *P. lunatus* (L.) sont plus connues par les personnes âgées. 84,46 % des femmes interrogées ont une meilleure connaissance des graines de *P. lunatus* (L.) que les hommes interrogés avec un pourcentage de 65,59 %. Les cultivars diffèrent d'une région à une autre. Les graines sont consommées sous différentes formes (bouillie, pâte et complément alimentaire) selon les ethnies et chaque ethnie à son nom vernaculaire.

**MOTS-CLEFS:** Malnutrition, Protéino-calorique, Sécurité alimentaire, *Phaseolus lunatus* (L.) et Enquête ethnobotanique.

## 1 INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire dont le développement repose sur le secteur agricole ne fait pas exception à la situation d'insécurité alimentaire qui touche le continent africain. Le gouvernement ivoirien a souscrit aux Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) dont l'un des axes majeurs est la réduction de la faim et de la sous-alimentation. Toutefois, l'adoption des OMD comme l'un des piliers de la stratégie nationale de développement n'a pas enrayé l'accentuation des problèmes liés à la sous-alimentation. Selon le [1] **Ministère de l'Agriculture & la FAO (2009)**, environ 12,6 % des ménages ruraux souffrent

d'insécurité alimentaire. Pour couvrir leurs besoins alimentaires, les populations rurales africaines complètent l'agriculture de subsistance par des espèces sauvages comestibles telles les légumineuses à graines [2] (FAO, 1988). Parmi les légumineuses à graines, les haricots constituent une importante source de protéines végétales pour l'alimentation humaine [3] (Kellouche & Soltani, 2005). Elles ont été reconnues comme l'une des meilleures et des moins chères pour l'alimentation des populations dans les pays en voie de développement [4] (Young & Pelett, 1994). Malheureusement, en Côte d'Ivoire, plus de 12 millions d'hectares de forêt ont disparu en moins de 40 ans, sous l'effet de l'exploitation anarchique et de l'agriculture itinérante [5] (Kouamé et al., 2008). Dans le milieu rural, cette déforestation est ressentie à la fois par la diminution des terres cultivables et la raréfaction des plantes alimentaires spontanées qui représentent de véritables sources de compléments nutritionnels. L'un des aspects souvent négligé dans l'alimentation des populations rurales africaines, est la valeur nutritive de certains produits utilisés dans la confection des plats traditionnels. Plusieurs variétés de graines alimentaires sont utilisées mais parmi elles, seuls quelques travaux sur leurs valeurs nutritionnelles sont connues [6] (Busson, 1965). L'objectif général de la présente étude est une contribution à la sécurité alimentaire par la valorisation des graines de *P. lunatus* pour leur utilisation plus rationnelle dans les différents régimes alimentaires.

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 MATÉRIEL

Le matériel biologique utilisé pour cette étude est constitué de cinq cultivars de *Phaseolus lunatus* (L.) collectés au cours de nos pré-enquêtes dans les villages d'Assoumoukro (M'batto) et N'guessankro (Bongouanou) dans la région du moronou sur la base des couleurs des graines (noir, blanc tacheté de noir, blanc, rouge, rouge tacheté de blanc) **Figure 1**.



**Figure 1 : Différents cultivars de *Phaseolus lunatus* (L.)**

**A : Cultivar noir, B : Cultivar rouge tacheté de blanc, C : Cultivar blanc, D : Cultivar rouge et E : Cultivar blanc tacheté de noir.**

### 2.2 MÉTHODES

#### 2.2.1 CHOIX DES ZONES D'ENQUÊTES

Les zones d'enquêtes ont été choisies sur la base des résultats d'une pré-enquête concernant l'utilisation des graines de *Phaseolus lunatus* (L.) dans l'alimentation humaine au Sud et à l'Est de la Côte d'Ivoire. Les résultats de cette pré-enquête ont montré que les graines de cette plante, beaucoup consommées dans ces zones, sont de plus en plus négligées. Suite à ce constat, les zones Sud et Est de la Côte d'Ivoire ont été choisies pour cette étude pilote.

## 2.2.2 MÉTHODE D'ÉCHANTILLONNAGE

### 2.2.2.1 DETERMINATION DE LA TAILLE DE L'ÉCHANTILLON

En tenant compte de l'organisation spatiale et de l'étendue des zones Est et Sud de la Côte d'Ivoire, une stratification de l'échantillon a été nécessaire en considérant chaque zone comme une strate. La taille de l'échantillon a été calculée par strate, à partir de l'équation ci-dessous [7] (**Vaughan & Morrow, 1991**):

$$N = \frac{t^2 \times P(1 - p)}{e^2} \quad (1)$$

N= taille de l'échantillon attendu

t= 1,96 à un niveau de confiance de 95 %

P= Proportion estimative de la population présentant la caractéristique étudiée dans l'étude (50 %)

e= marge d'erreur (fixé à 3,65 %).

Ainsi la taille minimale de l'échantillon a été estimée à 720 personnes.

### 2.2.2.2 ECHANTILLONNAGE ET PLAN DE SONDAGE

Dans ce travail, l'échantillon a été élaboré grâce à un mode d'échantillonnage probabiliste (aléatoire). Dans la zone Sud, six villes (Aboisso, Bonoua, Sikensi, Dabou, Agboville et Adzopé) ont été choisies de façon aléatoire et deux villages de chacune des villes ont été choisis par la même méthode. De même, dans la zone Est, six villes (Bongouanou, M' Batto, Sikensi, Arrah, Abengourou, Tanda et Akoupé) ont été choisies par la même méthode (**Figure 2**). Au total, 12 villes et 24 villages ont été choisis dans les deux zones. 15 personnes par village et 30 par ville ont été interrogées. Les prospections et les enquêtes ont été conduites en zone forestière, du Sud et l'Est de la Côte d'Ivoire.

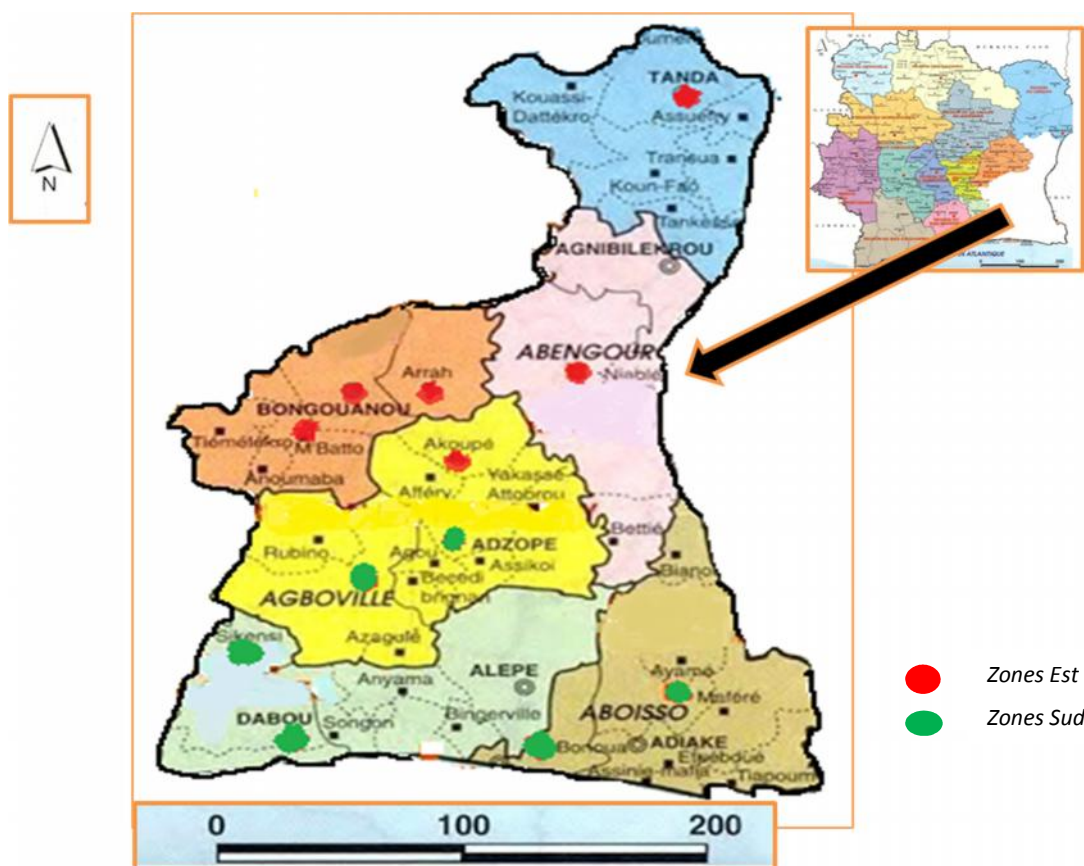


Figure 2 : Zones d'enquête du Sud et Est de la Côte d'Ivoire

## 2.3 MÉTHODES D'ENQUÊTES

Au total (720) personnes retenues pour l'enquête, sont des jeunes et adultes ayant un âge compris entre 18 à 85 ans, sensées connaître ou pas l'espèce *Phaseolus lunatus* (L.). L'enquête a été réalisée en s'appuyant sur un questionnaire. Une pré-enquête a permis d'améliorer le questionnaire adressé aux personnes interrogées. Il s'agit de recueillir des informations sur le niveau de connaissance, les différents cultivars en fonction des régions, les appellations locales, les modes d'approvisionnement (achat et cueillette), de commercialisation (par tas de gousses ou en gros), de consommation (Pâte, bouillie et compléments) en fonction des ethnies et de conservation (gousses entières ou graines) des graines de *P. lunatus*. Les questions posées sont du type fermé (réponse par oui ou non) et ouvert (donnant la latitude à l'enquêté d'exprimer son point de vue). Chaque personne interrogée représente un membre d'un ménage donné de la zone rurale ou urbaine. Le type d'enquête réalisé est dit entretien directe.

## 2.4 FRÉQUENCE DE CITATION

La fréquence de citation est un bon indice pour évaluer la crédibilité des informations reçues et le niveau de connaissance de l'espèce ou du cultivar donné par la population enquêtée [8] (Schrauf & Sanchez, 2008). La fréquence de citation (**fc**) est donnée par la formule suivante :

$$fc (\%) = \frac{n}{N} \times 100 \quad (2)$$

où **n** est le nombre de personnes interrogées ayant cité la plante et **N** le nombre total de personnes interrogées au cours de ces enquêtes.

## 3 RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 CONNAISSANCE DE *PHASEOLUS LUNATUS* (L.) EN FONCTION DES CLASSES D'ÂGE ET DU GENRE

Toutes les personnes interrogées dans les zones Sud et Est de la Côte d'Ivoire connaissent *Phaseolus lunatus* (L.) quelque soit l'âge et le sexe (**Tableau I**). Au niveau de l'âge, les personnes ayant un âge supérieur à 45 ans ont une forte connaissance de cette espèce. La fréquence moyenne chez ces personnes est plus élevée que les personnes ayant un âge inférieur à 45 ans. Ces pourcentages sont respectivement 85,48 % et 76,77 %. La fréquence des personnes connaissant *P. lunatus* est faible chez les plus jeunes (73,73 %) ayant un âge compris entre 18 et 35 ans par rapport aux moins jeunes (79,81%) qui ont un âge compris entre 35 et 45 ans. Dans l'ensemble, on constate une différence significative ( $X^2 = 9,35$ ;  $P < 0,05$ ) entre les jeunes et les personnes âgées au niveau de la connaissance de *P. lunatus*. Cette plante est connue dans l'ensemble mais par la plupart des personnes âgées.

**Tableau I: Proportion de connaissance de *Phaseolus lunatus* (L.) en fonction des classes d'âge et du genre**

| Régions                 | Obtention | Paramètres statistiques de Ki-deux |           |       |                  |
|-------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|-------|------------------|
|                         |           | Cueillette (%)                     | Achat (%) | dl    | X <sup>2</sup> P |
| Agneby-tiassa (n=67)    | 98,50     | 2,50                               |           |       |                  |
| Gontougo (n=37)         | 100       | 00                                 |           |       |                  |
| Indenie-djuablin (n=47) | 55,31     | 44,69                              | 6         | 63,14 | > 0,05           |
| La Me (n=87)            | 72,41     | 27,59                              |           |       |                  |
| Moronou (n=120)         | 90,83     | 9,83                               |           |       |                  |
| N'Zi (n=36)             | 88,88     | 21,12                              |           |       |                  |
| Sud-comoé (n=76)        | 71,05     | 28,95                              |           |       |                  |
| <b>Total (n=470)</b>    |           |                                    |           |       |                  |

Dans les zones Sud et Est de la Côte d'Ivoire, les personnes qui connaissent *Phaseolus lunatus* sont de sexes différents (**Tableau I**). 84,46 % des femmes interrogées (502) connaissent la plante alors que sur 218 hommes interrogés, 65,59 % connaissent cette espèce. Ces femmes qui représentent (84,46 %) cultivent et ont une meilleure connaissance de *P. lunatus*. Il existe une différence significative ( $X^2 = 31,92$ ;  $P < 0,05$ ) entre les femmes et les hommes par rapport à la connaissance de *P. lunatus*. Cette plante est plus connue par le genre féminin.

### 3.2 CONNAISSANCE DES CULTIVARS DE *PHASEOLUS LUNATUS* (L.) EN FONCTION DES RÉGIONS

L'enquête nous a permis de vérifier la présence ou l'absence des graines de *Phaseolus lunatus* de couleur rouge, blanche, noire, blanc tâché de noir, rouge tâché de blanc dans les différentes zones Sud et Est visitées (**Figure 3**). Une différence significative ( $X^2 = 111,70$ ;  $P < 0,05$ ) a été observée entre les différentes régions prospectées par rapport à la présence du cultivar blanc qui prédomine dans la plupart des régions prospectées avec une fréquence moyenne de citation de 93,47 %. Par contre ce cultivar est quasi-inexistant dans les régions du Gontougo et de l'Agneby-tiassa. Le cultivar de couleur blanc-noir prédomine dans la zone Est principalement dans la région du Gontougo avec une fréquence de citation de 51,06 %. Les résultats ont montré la faible présence de ce cultivar dans certaines régions de l'Est telles que le Moronou (40,78 %) ; l'Indénie-djuablin (31,37 %), le N'Zi (20 %) mais aussi dans d'autres régions du Sud que sont : l'Agneby-tiassa (34,52 %), La Me (7,22 %). Il est absent dans la région du Sud-comoé (Zone Sud). Une différence significative ( $X^2 = 71,86$ ;  $P < 0,05$ ) a été observée entre les différentes régions prospectées par rapport à la fréquence de citation du cultivar blanc-noir. Les résultats ont montrés de fortes fréquences de citation du cultivar rouge dans les régions de l'Agneby-tiassa (78,5 %), du Gontougo (63,83 %), de La Me (88,54 %), du Moronou (84,83 %) et du Sud-comoé (77,91 %). La fréquence de citation de ce cultivar varie respectivement de 49,02 % dans la région de l'Indénie-djuablin et de 47,5 % dans la région du N'Zi. Une différence significative ( $X^2 = 61,70$ ;  $P < 0,05$ ) a été observée entre les différentes régions prospectées par rapport à la présence de ce cultivar. Le cultivar rouge tâché de blanc prédomine dans les régions de l'Indénie-djuablin (58,82 %) et dans le N'Zi (50 %). Ce cultivar se retrouve avec de très faibles fréquences dans les régions du Gontougo (9,30 %), le Sud-comoé (1,16 %) et la Me (5,15 %). Une différence significative ( $X^2 = 109,79$  ;  $P < 0,05$ ) a été observée entre les différentes régions prospectées par rapport à la présence du cultivar rouge tâché de blanc. Les résultats ont montré de fortes fréquences de citation du cultivar noir qui varient respectivement dans les régions de l'Agneby-tiassa (71,43 %), de Gontougo (85,11 %), du Moronou (57,24 %), le Sud-comoé (61,63 %) et de La Me (54,17 %). Une différence significative ( $X^2 = 65,71$ ;  $P < 0,05$ ) a été observée entre les différentes régions prospectées par rapport à la présence de ce cultivar (**Figure 3**). Les cultivars blanc et blanc tâché de noir sont inexistant respectivement dans les régions du Gontougo, de l'Agneby-tiassa et du Sud-comoé.

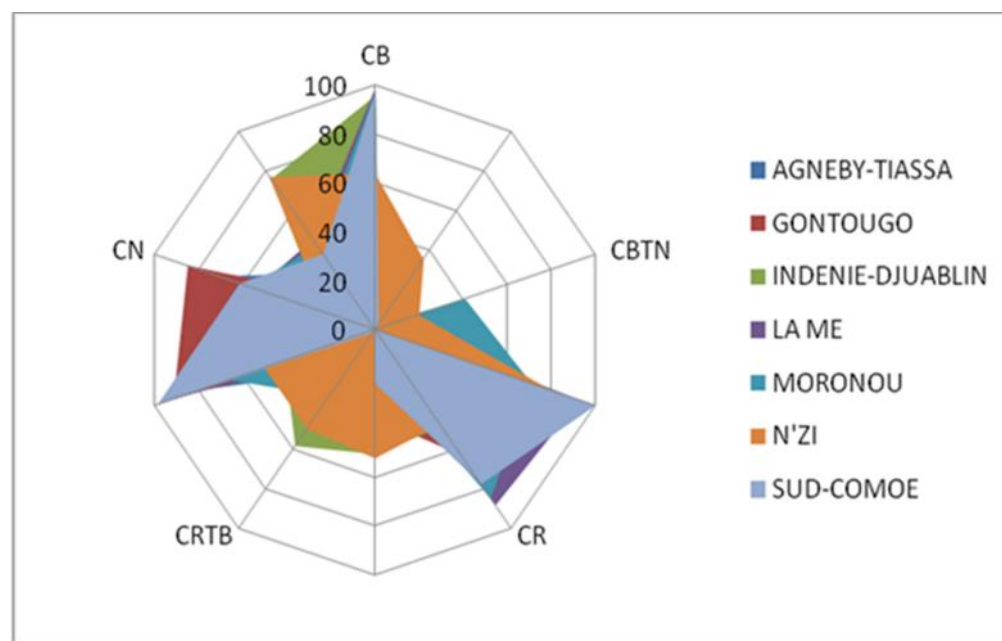


Figure 3 : Fréquences de distribution des cultivars de haricot *Phaseolus lunatus* (L.) en fonction des régions CB= Cultivars blanc ; CR= Cultivar rouge ; CN= Cultivar noir ; CBTN= Cultivar blanc tâché de noir et de CRTB= Cultivar rouge tâché de blanc

### 3.3 MODE D'OBTENTION DES FRUITS DE *PHASEOLUS LUNATUS* (L.)

Les résultats ont montré que 470 des personnes enquêtées (65,27 %) obtiennent les graines de *Phaseolus lunatus* (L.) par la cueillette et l'achat dans les régions du Sud et l'est de la Côte d'Ivoire (**Tableau II**). Dans ces régions, la majorité des personnes interrogées obtiennent les graines de *P. lunatus* par la récolte avec une fréquence moyenne de 82,30 %. La fréquence

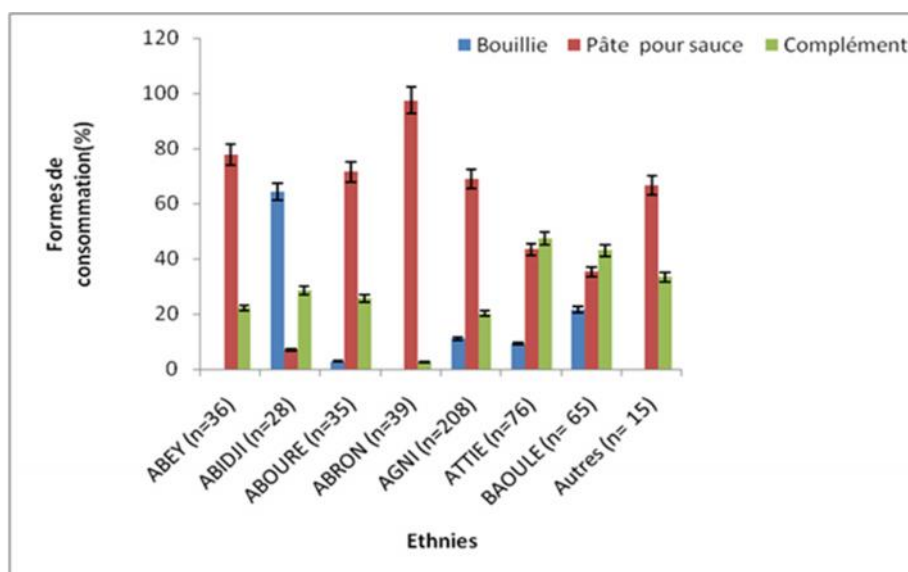
d'obtention des graines diffère d'une région à une autre. Elle varie respectivement pour l'Agnéby-tiassa (98,50 %), le Gontougo (100 %), l'Indénie-djuablin (55,31 %), la Me (72,41 %), le Moronou (90,83 %), le N'Zi (89,88 %) et le Sud-comoé (71,07 %). La fréquence moyenne de récolte des graines de *P. lunatus* est de 82,42 % et celle de l'achat est de 19,24 %. Les gousses sont vendues après la récolte. Les prix oscillent entre 25 F et 50 F par tas de gousses. Le nombre de gousses par tas varie de cinq à dix selon les zones enquêtées. Dans certaines zones enquêtées, les grossistes achètent le panier plein de gousses (0,7 à 1,4kg) de *P. lunatus* à 250 F. Les personnes enquêtées obtiennent en majorité les fruits de cette plante par la cueillette.

**Tableau II : Mode d'obtention des fruits de *Phaseolus lunatus* (L.) en fonction des régions**

| Régions                 | Obtention | Paramètres statistiques de Ki-deux |           |    |                  |
|-------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|----|------------------|
|                         |           | Cueillette (%)                     | Achat (%) | dl | X <sup>2</sup> P |
| Agneby-tiassa (n=67)    |           | 98,50                              | 2,50      | 6  | 63,14<br>> 0,05  |
| Gontougo (n=37)         |           | 100                                | 00        |    |                  |
| Indenie-djuablin (n=47) |           | 55,31                              | 44,69     |    |                  |
| La Me (n=87)            |           | 72,41                              | 27,59     |    |                  |
| Moronou (n=120)         |           | 90,83                              | 9,83      |    |                  |
| N'Zi (n=36)             |           | 88,88                              | 21,12     |    |                  |
| Sud-comoé (n=76)        |           | 71,05                              | 28,95     |    |                  |
| <b>Total (n=470)</b>    |           |                                    |           |    |                  |

### 3.4 FORMES DE CONSOMMATION DES GRAINES DE *PHASEOLUS LUNATUS* (L.)

L'étude sur les formes de consommation des graines de *Phaseolus lunatus* (L.) chez les populations des zones sud et est de la côte d'Ivoire a montré que la majorité des personnes enquêtées soit 64,86 % consomment les graines de *P. lunatus* sous trois formes bouillie (13,61 %), pâte pour épaissir les sauces (58,58 %) et comme complément alimentaire (27,88 %). Ces formes de consommations diffèrent d'un groupe ethnique à un autre (**Figure 3**). Au niveau des ethnies, l'ordre de préférence est la forme bouillie chez les Abidji (64,29 %), la forme pâte pour épaissir les sauces est plus prisée chez les Abourey (71,43 %), les Abey (77,78 %), les Abron (97,44 %), les Agni (68,75 %) et les autres (66,67). Les Attié (47,37 %) et les Baoulé (43,07%) consomment les graines *P. lunatus* sous forme complément alimentaire. Elles sont utilisées pour les préparations de riz gras et de sauces chez ces populations (**Figure 4**). Une différence significative ( $X^2 = 146,70$ ;  $P < 0,05$ ) est observée entre les différentes formes de consommation. Les formes de consommation diffèrent d'un groupe ethnique à un autre et la forme la plus prisée dans l'ensemble est la pâte des graines pour épaissir la sauce.



**Figure 4 : Formes de consommation des graines de *Phaseolus lunatus* (L.) des groupes ethniques enquêtées en Côte d'Ivoire**

### 3.5 FORMES DE CONSERVATION DE *PHASEOLUS LUNATUS* (L.)

Les résultats de l'étude ont montré que *Phaseolus lunatus* (L.) se conserve en majorité sous forme de gousses (70,32 %). Dans les régions de la Me et du N'Zi, *P. lunatus* (L.) se conserve en majorité sous forme de graines avec une fréquence moyenne de 62,52 %. Les fréquences de conservation sous forme de gousses les plus élevées sont observées dans les régions de l'Agnéby-tiassa (91,31 %), du Gontougo (97,22 %), de l'Indénie-Djuablin (82,75 %), du Moronou (61,29 %) et du Sud-comoé (82,75 %). Les résultats ont montré que, les proportions de conservation sous de formes de gousses et en graines de *P. lunatus* dans les régions de la Me et du N'Zi sont respectivement de (49,18 %) contre (50,82 %) et (27,77 %) contre (72,23 %). Les populations de la région du N'Zi conservent *P. lunatus* sous forme de graines. *P. lunatus* se conserve sous formes de gousses et graines par les populations de la région de la Me (**Tableau III**). Une différence significative ( $X^2 = 61,06$ ;  $P < 0,05$ ) est observée entre les différentes formes de conservation dans les régions prospectées. Dans l'ensemble, les personnes enquêtées conservent *P. lunatus* sous forme de gousses.

**Tableau III: Fréquences des formes de conservation de *Phaseolus lunatus* (L.)**

| Régions                 | Formes de conservation |         | Paramètres statistiques de Ki-deux |                |       |
|-------------------------|------------------------|---------|------------------------------------|----------------|-------|
|                         | gousses                | graines | dl                                 | X <sup>2</sup> | P     |
| Agneby-tiassa (n=46)    | 91,31                  | 8,69    | 6                                  | 61,06          | <0,05 |
| Gontougo (n=36)         | 97,22                  | 2,78    |                                    |                |       |
| Indenie-djuablin (n=29) | 82,75                  | 17,25   |                                    |                |       |
| La Me (n=61)            | 49,18                  | 50,82   |                                    |                |       |
| Moronou (n=62)          | 61,29                  | 38,71   |                                    |                |       |
| N'Zi (n=18)             | 27,77                  | 72,23   |                                    |                |       |
| Sud-comoé (n=58)        | 82,75                  | 17,25   |                                    |                |       |
| <b>Total (n=310)</b>    |                        |         |                                    |                |       |

### 3.6 APPELLATIONS LOCALES DE *PHASEOLUS LUNATUS*

Les enquêtes sur les appellations locales de *Phaseolus lunatus* (L.) ont permis de répertorier différents noms vernaculaires (appellations locales) de *P. lunatus* (L.) dans dix ethnies de la Côte d'Ivoire. Cependant, la dénomination de l'espèce par les populations locales varie d'un groupe socioculturel à un autre et au sein du même groupe socioculturel (**Tableau IV**).

**Tableau IV: Quelques noms vernaculaire de *Phaseolus lunatus* (L.)**

| Groupe ethnique | Ethnies       | Noms vernaculaires  |
|-----------------|---------------|---------------------|
| Akan            | Agni morofoué | Allouwa             |
|                 | Agni sanwi    | Allouba             |
|                 | Agni indénie  | Allouwa             |
|                 | Baoulé        | Allowa              |
|                 | Abidji        | Abolou              |
|                 | Abouré        | N'ghorho            |
|                 | Abbey         | Anon                |
|                 | Attie         | Lè ou Appatamou     |
|                 | Abron         | Appatram            |
|                 | Ebrié         | Mounin              |
|                 | Adjoukrou     | Anganni ou Angannou |
|                 | Malinké       | Sossô               |

## 4 DISCUSSION

*Phaseolus lunatus* (L.) est connue dans l'ensemble par les personnes âgées. L'âge des personnes, connaissant *P. lunatus* dans les régions enquêtées est en général très avancé. Cela pourrait s'expliquer par le fait que, les personnes âgées possèdent une connaissance des cultures anciennes, qui leur a probablement été léguée par la pratique culturelle et alimentaire. De même, dans les zones rurales du Sud et de l'Est de la Côte d'Ivoire où la culture de *P. lunatus* est pratiquée traditionnellement,

les agriculteurs sont relativement âgés et les plus jeunes membres de la famille sont employés dans d'autres secteurs de production, ce qui menace le maintien de la culture et le savoir-faire qui lui est lié. Les mêmes tendances concordent avec ceux de [9] **Negri et al. (2000)** qui ont montré la connaissance du niébé par les personnes âgées dans les villages du sud de l'Italie où la culture du niébé est pratiquée traditionnellement.

*Phaseolus lunatus* (L.) est plus connue par le genre féminin. Dans les zones Sud et Est de la Côte d'Ivoire étudiées, on constate que la proportion de la connaissance de *Phaseolus lunatus* (L.) est plus élevée chez les femmes que chez les hommes. Les femmes semblent être plus attachées à la culture de *P. lunatus*. Cette espèce est une culture vivrière pratiquée à petite échelle dans les jardins familiaux à des fins alimentaires. Sa culture est une tradition gardée surtout par les femmes. Elles préservent le savoir traditionnel sur les techniques culturales adaptées au milieu, sur les variétés locales et leur utilisation pour les préparations de plats traditionnels et produits divers. Elles produisent elles-mêmes, leurs semences en prenant soin de garder toujours une partie des graines récoltées pour les semer l'année d'après, c'est ce qui aide à la préservation de cette ressource phylogénétique. Nos résultats corroborent avec ceux de [10] **Baco et al. (2008)** qui ont montré que dans de nombreux pays, les femmes sont considérées comme des gardiennes de la diversité phylogénétique. Elles sont aidées, parfois, par les enfants et ont en charge, les activités de cueillette, de conditionnement et de commercialisation des plantes légumières. Aussi, les mêmes tendances de nos analyses concordent avec les travaux de [11] **Gockowski et al. (2003)** qui ont démontré le rôle prépondérant des femmes dans la gestion des plantes légumières en Afrique sub-sahariennes. Par ailleurs, les travaux sur la culture du voandzou rapportés à l'ouest par [12] **Anchirinah et al., (2001)**, au nord par [13] **Adu-Dappaah et al. (2004)** et à l'Est par [14] **Berchie et al. (2010)** du Ghana ont montré une forte proportion des femmes impliquée dans cette culture.

Les cultivars blanc et blanc tacheté de noir sont inexistantes dans certaines régions sud et Est de la Côte d'Ivoire. Plusieurs cultivars de *Phaseolus lunatus* (L.) sont cultivés par les populations du Sud et de l'Est de la Côte d'Ivoire. La connaissance des cultivars est relative aux différentes zones d'études. Au total trois cultivars sont cultivés dans toutes les régions (rouge, rouge tacheté de blanc et rouge tacheté de noir) en Côte d'Ivoire. Le cultivar blanc est quasi-inexistant dans les régions de l'Agnéby et du Gontougo. Le cultivar blanc tacheté de noir est inexistant dans la région du Sud-comoé. Cette diversité variétale a été aussi observée avec d'autres espèces telles que le sorgho. Nos résultats corroborent avec ceux obtenus par [15] **Kayodé et al. (2006)** et **Missihoun et al. (2012)** [16] qui ont signalées la culture de plusieurs variétés de sorgho dans la région de Lokpa (Benin). Les cultivars blanc et blanc-noir sont inexistantes ou en voie de disparition dans la zone Sud de la Côte d'Ivoire.

Le mode approvisionnement de *Phaseolus lunatus* (L.) par les consommateurs est la récolte directe dans les champs. La fréquence moyenne d'approvisionnement des fruits de *P. lunatus* dans les champs ou jardins (Cueillette) est de 82,30 % contre 17,70 % par achat sur les marchés environnants. La cueillette directe des fruits de *P. lunatus* par les consommateurs est le mode d'approvisionnement le plus fréquent. Cela pourrait s'expliquer que *P. lunatus* est une culture vivrière pratiquée à petite échelle dans les jardins familiaux à des fins alimentaires.

*Phaseolus lunatus* (L.) est conservé en majorité sous forme de gousses. La conservation moyenne sous forme de gousses est de 70,32 % contre 29,68 % en graines. Durant la conservation dans les greniers, les graines peuvent être soumises aux attaques des insectes [17] (**Ofuya & Bamigbola, 1991**). Pour éviter ces pertes, les paysans conservent *P. lunatus* sous forme de gousses. La commercialisation de *P. lunatus* n'est pas trop développée. En effet, *P. lunatus* ne fait pas l'objet de véritable culture domestiquée dans les zones du Sud et à l'Est de la Côte d'Ivoire. Ce qui explique ce commerce local de *P. lunatus* dans les villages et villes.

Les formes de consommation diffèrent d'un groupe ethnique à un autre et la forme la plus prisée dans l'ensemble est la pâte des graines pour épaissir la sauce. Les valeurs ethnonutritionnelles de *Phaseolus lunatus* sont mises en exergue par les différentes techniques culinaires utilisées par les populations des régions du Sud et à l'Est de la Côte d'Ivoire. Les graines de *P. lunatus* sont consommées sous forme bouillie, pâte pour épaissir les sauces (aubergine, claire etc...) et ingrédients dans des différents mets préparés (riz, maïs et sauces). La forme de consommation diffère d'une ethnie à une autre. La forme pâte pour épaissir les sauces est consommée par toutes les ethnies interrogées. La forme bouillie n'est pas consommée chez les Abbeys, les Abrons et autres. Les Attié et les Baoulé ont une forte préférence pour la forme ingrédient utilisée dans les différents types de mets. Ces résultats sont similaires à ceux de [18] **Kayodé et al. (2005)** qui ont travaillé sur les formes de consommation des graines de sorgho dans l'alimentation humaine. Selon ces travaux, le sorgho grain est utilisé dans la préparation de divers mets traditionnels comme les pâtes locales (Dibou ou wô, Sifanou, Fourra), les bouillies (Koko, Sorou, Kamanguia). Un taux de 51, 23 % des enquêtés dans la région Sud préfèrent consommer les graines de *P. lunatus* sous forme d'ingrédients dans les différents mets préparés. Cette différence de consommation des graines de *P. lunatus* au niveau des différentes ethnies est due à leurs habitudes alimentaires. De cette enquête, il ressort que des personnes interrogées affirment consommer les graines pendant les périodes de disette.

La dénomination de *Phaseolus lunatus* par les populations locales varie d'un groupe socioculturel à un autre et au sein du même groupe socioculturel. Des groupes ethnoculturels sont très attachés à certaines plantes alimentaires mineures qui

constituent une part de leur identité en tant que peuples. Ces peuples donnent souvent à ces plantes des noms qui les identifient clairement d'où la diversité de noms vernaculaires de *P. lunatus*. [19] Seidou et al. (1996) et Sow (2003) [20] ont montré que la présence dans les exploitations agricoles des plantes auxquelles l'on a donné de tels noms fait pérenniser ces expressions et leurs significations, garantissant encore largement la place et le statut de l'agriculteur dans son milieu comme le ferait le mil en milieu sahélien. Ces auteurs ont précisé que la signification de ces noms peut même donner lieu à l'élaboration d'un lexique fort instructif pour les communautés locales et scientifiques [19] (Seidou et al. (1996) et Sow (2003) [20]. Selon les mêmes auteurs, ces noms locaux sont des vestiges d'un passé agricole qui méritent d'être conservés pour les générations futures. Selon [21] Anonyme. (2005) et FAO (2011) [22], de telles plantes jouent également un rôle important dans la culture alimentaire locale.

## 5 CONCLUSION

*Phaseolus lunatus* (L.) est connu par la population Ivoirienne. La connaissance de ce haricot sec est fonction des classes d'âge et du sexe. Les cultivars blanc et blanc tacheté de noir de *P. lunatus* sont inexistants dans certaines zones d'enquêtes (Agneby-tiassa, Gontougo et le Sud-comoé). La cueillette et l'achat sont les modes d'approvisionnement des fruits. Cette légumineuse à graine fait partie des habitudes alimentaires de la population ivoirienne. Elle est consommée sous forme de pâte pour épaissir les sauces, bouillie et ingrédients. Les Attié et les Baoulé utilisent les graines comme ingrédients dans leurs différents mets. Plusieurs modes de conservation sont utilisés : la conservation par gousse et sous forme de graines. Les populations des deux zones préfèrent conserver les fruits de *P. lunatus* sous forme de gousses. Chaque ethnie à son appellation locale. Cette étude pourrait contribuer à l'intégration de cette légumineuse mineure dans des vrais systèmes agraires.

## REFERENCES

- [1] Ministère de l'Agriculture. & FAO « Bilan alimentaire de la Côte d'Ivoire », Abidjan 25 Pp, 2009.
- [2] FAO, Traditional food plants. Food and Nutrition Paper, 42: 1-3, 1988.
- [3] Kellouche A. & Soltani N, Activité biologique des poudres de cinq plantes et de l'huile essentielle d'une d'entre elles sur *Callosobruchus maculatus*, International Journal of Tropical Insect Science, 24: 184-191, 2005.
- [4] Young V. & Pelettp P.I, Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. American Journal Clinical Nutrition, 59: 1203S-1212S, (1994).
- [5] Kouamé N'dri M.T., Gnahoua G. M., Kouassi K. E. & Traoré D, Plantes alimentaires spontanées de la région du fromager (Centre - Ouest de la Côte d'Ivoire): flore, habitats et organes consommés. Sciences & nature, 5 (1): 61-70, 2008.
- [6] Busson F, Plantes alimentaires de l'Ouest Africain Ed. Leconte, Marseille, France, 568p, 1965.
- [7] Vaughan J.P., morrow R.H, Manuel d'épidémiologie pour la gestion de la santé au niveau du district. Genève, OMS, 186 p, 1991.
- [8] Schrauf R.W. & Sanchez J, Using Freelisting to Identify, Assess, and Characterize Age Differences in Shared Cultural Domains. The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences, 63: 385-393, 2008.
- [9] Negri V., Tosti., Falcinelli M. & Veronessi F, Characterization of thirteen Cowpea landraces from Umbria (Italy). Strategy for their Conservation and promotion. Genetical Resources Crops Evo, 47: 141-146, 2000.
- [10] Baco M.N., Ahanchédé A., Bello S., Dansis A., Vodouhè R., Biao G. & Lescures J-P, Évaluation des pratiques de gestion de la diversité du niébé (*Vigna unguiculata*): une tentative méthodologique expérimentée au Bénin. Cahiers Agricultures, 17: 183-188, 2008.
- [11] Gockowski J., Mbazo'o J., Mbah G. & T.F Moulende, African traditional leafy vegetables and urban and peri-urban poor. Food Policy, 28: 221-235, 2003.
- [12] Anchirinah V.M., Yiridoe E.K. & Bennet-Lartey S.O, Enhancing sustainable production and genetic resource conservation of Bambara groundnut. A survey of indigenous agricultural knowledge systems. Outlook Agriculture, 30: 281-288, 2001.
- [13] Adu-Dapaah H.K., Assibuo J.Y., Danquah A.O., Owusu-Akyaw M, Haleegoah J & Amoatey H, Bambara groundnut improvement through mutation breeding in Ghana. Proceedings of Final Research Coordination Workshop on Genetic Improvement of Underutilized and Neglected Crops on Low Food Deficit Countries Through Irradiation and Related Techniques, May 19-23, Pretoria. South Africa. Pp 37-48, 2004.
- [14] Berchie J.N, Opoku M, Adu-Dappaah H, Agyemang A, Sarkodie-Addo J, Assare E, Addo J. & Akuffo H, Evaluation of Bambara groundnut (*Vigna subteranea* (L.) Verdc.) Landraces to heat and drought stress at Tono-Navrongo, Upper East Region of Ghana. African Journal of agriculture research, 7(2): 250-256, 2012.
- [15] Kayodé A.P.P., Linnemann A.R., Nout M.J.R., Hounhouigan J.D., Stomph T.J. & Smulders M.J.M, Diversity and food quality properties of farmers' varieties of sorghum from Benin. Journal Science of Food Agriculture, 86:1032-1039, 2006.

- [16] Missihoun A.A., Agbangla C., Adoukonou-Sagbadja H., Ahanhanzo C. & Vodouhè R, Gestion traditionnelle et statut des ressources génétiques du sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench) au Nord-Ouest du Bénin. International Journal of Biology Chemistry Science 6: 1003-1018, 2012.
- [17] Ofuya T. I & Bamigbola K. A, Damage Potential, growth and development of the seed beetle, *Callosobruchus maculatus* (Fab.) (Coleoptera: Bruchidae) on some tropical legumes. Tropical Agriculture, 68: 33-36, 1991.
- [18] Kayodé A.P.P., Adegbidi A., Hounhouigan J.D., Linnemann A.R. & Nout M. J.R, Quality of farmers' varieties of sorghum and derived foods as perceived by consumers in Benin. Ecology of food and Nutrition, 44: 271-294, 2005.
- [19] Seidou A., Mounkaila F. & Sidibé A, Derrière le geste quotidien : savoirs paysans et représentations du milieu dans deux villages du Dallol Bosso Sud, in : Actes du colloque SPP/E tenu à Niamey du 14 au 15 décembre 1995 ; thème : Agri-cultures en mutation, (éds) Annales de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger 97-108, 1996.
- [20] Sow M, Rôle des structures traditionnelles dans la valorisation de la biodiversité en Guinée, in: Pratiques culturelles, la sauvegarde et la conservation de la biodiversité en Afrique et du Centre. Actes du séminaire atelier de Ouagadougou du 18 au 21 juin 2001 (Burkina Faso), CRDI/Zoom (éds): 105-112, 2003.
- [21] Anonyme, Facteurs culturels et diversité génétique des plantes, in : Conservation et utilisation durable de la biodiversité agricole, guide de référence CIP-UPWARD, Laguna (Philippines), 1: 39-45, (2005).
- [22] FAO, Biodiversity for Food and Agriculture Contributing to food security and sustainability in a changing world, Rome, Fao 78 p, (2011).

## Appréciation du potentiel des images satellitaires Sentinel1 et Sentinel2 pour la cartographie du parc marin des mangroves, en République Démocratique du Congo

### [ Assessment of the potential of satellite imagery Sentinel1 and Sentinel2 for the mapping of the mangrove marine park in the Democratic Republic of Congo ]

**B. MUYAYA KALAMBAY<sup>1</sup>, J.P. RUDANT<sup>2</sup>, R. LUMBUENAMO SINSI<sup>1</sup>, P. MUAMBA MUAMBAZAMBI<sup>1-3</sup>, A. WAYAWO MANDATA<sup>4</sup>, G. KONUNGA MBOTEKOLA<sup>5</sup>, and M. COLLET<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Laboratoire de Géomatique Appliquée et Environnement, École Régionale Post Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, RD Congo

<sup>2</sup>Université de Paris Est Marne, LaSTIG, UPEM – IGN, Paris, France

<sup>3</sup>Espace Géomatique et Environnement Tropical – EGET, Kinshasa, RD Congo

<sup>4</sup>Université de Douala, Informatique Appliquée aux Systèmes d'Informations Géographiques – IASIG, Douala, Cameroon

<sup>5</sup>Laboratoire d'Hydrobiologie, Ecole Régionale Post Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux, Kinshasa, RD Congo

<sup>6</sup>Parc Marin des Mangroves, Institut Congolais pour la Conservation de la Nature, Moanda, Kongo – central, RD Congo

---

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The mangrove marine park (MCP), like any ecosystem under threat of anthropogenic pressures, needs to be monitored in order to guide its governance strategy. In this paper, we present the preliminary results of the potential of satellite images Sentinel2, optical and Sentinel1, radar, for the mapping of PMM. In general, the use of satellite imagery is justified notably by the potential it offers to carry out multiple studies (multi-scale and multi-temporal) as well as by the difficulties of access to the site which is essentially marine, and therefore Difficult to access by land. In particular, the use of radar is justified by the limitation of optical imagery which is inoperative under cloudy skies while PMM is during long weeks of the cloudy year. To perform this work, we used a Sentinel2 scene of June 18, 2016 and a Sentinel1 scene of May 21, 2016. We used an object-oriented classification, after photo-interpretation of the scene extracts. The results show that S1 can detect savannah, high mangrove, low mangrove, inhabited areas, (large) buildings and water with satisfactory accuracy. Like S1, S2 can detect savannah, high mangrove, low mangrove, inhabited areas, water, (large) buildings in addition to bare soil. These results highlight the potential of scenes S1 and S2 for the mapping of coastal zones in the tropical context. S1 thus makes it possible to detect the same objects as S2, with the exception of the bare ground. This is an important asset for monitoring this ecosystem because it is free from the clouds that cover the area of many weeks during the year and limits its monitoring by optical imaging. In terms of prospects, we consider the detection of oil slicks using S1 images and the use of images with better spatial resolution (Pleiades, SPOT6 and 7) in order to assess the importance of anthropogenic activities Within the PMM (encampments, carbonization ...).

**KEYWORDS:** Potential, satellite imagery, Sentinel1 and Sentinel2, Cartography, mangrove Marine Park, Democratic Republic of Congo.

**RÉSUMÉ:** Le parc marin des mangroves (PMM), comme tout écosystème sous menaces des pressions anthropiques, a besoin d'être surveillé dans le but d'orienter la stratégie de sa gouvernance. Dans ce papier, nous présentons les résultats

préliminaires du potentiel des images satellitaires Sentinel2, optiques et Sentinel1, radar, pour la cartographie du PMM. De manière générale, le recours à l'imagerie satellitaire est justifié notamment par le potentiel qu'elle offre de réaliser des études multiples (multi échelle et multi temporelle) ainsi que par les difficultés d'accès au site qui est essentiellement marin, et donc difficile d'accès par voie terrestre. En particulier, le recours au radar se justifie par la limitation de l'imagerie optique qui est inopérante sous ciel nuageux alors que le PMM est durant des longues semaines de l'année couvert des nuages. Pour réaliser ce travail, nous avons utilisé une scène Sentinel2 du 18 juin 2016 ainsi qu'une scène Sentinel1 du 21 mai 2016. Nous avons recouru à une classification orientée objet, après photo-interprétation des extraits des scènes. Les résultats montrent que S1 permet de détecter la *savane*, la *mangrove haute*, la *mangrove basse*, les *zones habitées*, le *bâti* (de grandes dimensions) et l'*eau* avec une précision satisfaisante. De même que S1, S2 permet de détecter la *savane*, la *mangrove haute*, la *mangrove basse*, les *zones habitées*, l'*eau*, le *bâti* (de grandes dimensions) en plus du *sol nu*. Ces résultats mettent en évidence le potentiel des scènes S1 et S2 pour la cartographie des zones littorales dans le contexte tropical. S1 permet donc de détecter les mêmes objets que S2, à l'exception du sol nu. Ceci constitue un important atout pour la surveillance de cet écosystème car il s'affranchit des nuages qui couvrent la zone des nombreuses semaines durant l'année et en limite le suivi par imagerie optique. En termes de perspectives, nous envisageons la détection des nappes d'hydrocarbures à l'aide des images S1 ainsi que l'utilisation d'images de meilleure résolution spatiale (Pléiades, SPOT6 et 7) afin d'évaluer l'importance des activités anthropiques au sein du PMM (campements, carbonisation ...).

**MOTS-CLEFS:** Potentiel, images satellitaires, Sentinel1 et Sentinel2, Cartographie, parc marin des mangroves, République Démocratique du Congo.

## 1 INTRODUCTION

Avec une superficie de 76 800 hectares, le parc marin des mangroves (PMM) fait partie du réseau d'aires protégées in situ (parcs nationaux, réserves, domaine de chasse, ...) de la République Démocratique du Congo qui est géré par l'institut Congolais pour la conservation de la nature (ICCN).

Créé en 1992, le PMM est, depuis 1996, parmi les deux sites Ramsar de la RDC qui sont : le PMM et le parc national de Virunga (PNVi) [1 – 2]. C'est une aire protégée de catégorie II de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) dont l'objectif premier de gestion est non seulement de protéger la biodiversité naturelle, la structure écologique et les processus environnementaux sous-jacents mais aussi de promouvoir l'éducation et les loisirs [3 - 9].

Parmi les problèmes que connaît ce site, il y a le fait qu'il reste encore relativement mal connu. D'abord parce que très peu d'études y ont été réalisées et, ensuite, parce que le site est totalement marin, et donc difficile d'accès par voie terrestre. Ceci rend la tâche difficile aux chercheurs qui voudraient se lancer dans sa connaissance, au vu des moyens réduits dont dispose l'ICCN en particulier, et les chercheurs Congolais en général. Ceci justifie donc l'intérêt de l'utilisation de la télédétection spatiale comme outil de premier choix [10 – 15].

Le site est menacé par des activités anthropiques au nombre desquelles nous pouvons citer le braconnage (fig.1), le déboisement et la carbonisation (fig.2), la pêche non conventionnelle utilisant des techniques non admises (filet à maille réduite, ...), les pollutions par hydrocarbures car le site est souvent emprunté par les navires de haute-mer qui se rendent dans la ville de Matadi.



**Fig.1. Viande des tortues marine saisie par les éco gardes (photo Collet M, 2016)**



**Fig.2. Sacs des charbons à bois saisis par les éco gardes (photo Collet M, 2016)**

Il existe aussi divers sites d'extraction et de raffinage pétrolier qui se trouvent dans les environs du site (fig.3) et qui nécessitent son suivi spatiotemporel.



**Fig.3. Pompe cheval localisée aux environs du PMM (photo Ntadi S, 2014)**

Pour se faire, il est indiqué de recourir à l'utilisation couplée de l'imagerie optique et radar car l'imagerie optique seule, est limitée par le fait qu'elle est inopérante dans un contexte de nébulosité élevée, ce qui est le cas de notre site où le ciel est pendant des nombreuses semaines de l'année couvert des nuages.

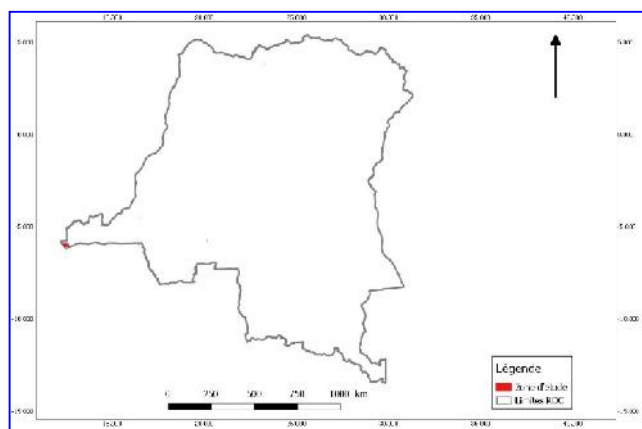
L'objectif de la présente étude est d'apprécier le potentiel des images Sentinel2 (optiques) et Sentinel1 (radar) pour la cartographie du PMM et ses environs. Ceci pourrait fournir des indications sur le potentiel de suivi spatiotemporel de ce site à l'aide des images produites par les deux missions (Sentinel1 & 2) du projet *Copernicus* de l'agence spatiale européenne [16 – 17].

Nous partons de l'hypothèse de base selon laquelle l'association de l'imagerie radar et optique augmente la capacité de suivi temporel de l'environnement, dans la mesure où, le radar permet de lever la limite de la télédétection optique liée à la présence nuages.

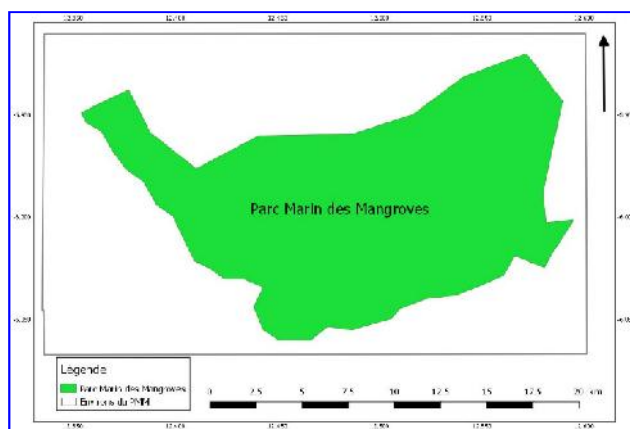
## **2 MATERIELS ET METHODES**

### **2.1 SITE D'ÉTUDE**

Créé en 1992, le PMM est localisé à l'Ouest de la République Démocratique du Congo; son emprise géographique est précisément située entre 5.91825° et 6.06174° des latitudes Sud et 12.3481° et 12.6052° des longitudes Est (fig.4 et 5) [18].



**Fig.4. Localisation de la zone d'étude sur la RDC (MUYAYA B, 2017)**



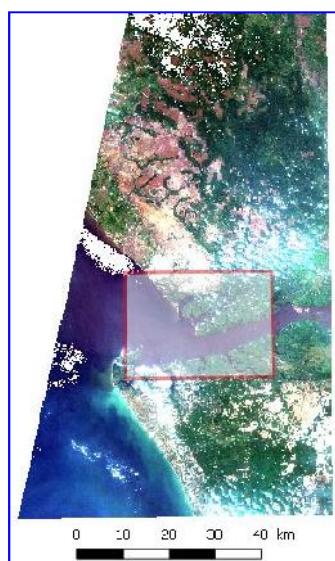
**Fig.5. Carte de la zone d'étude (MUYAYA B, 2017)**

Avec ses 76 800 hectares, le PMM est, depuis le 18 janvier 1996, un site Ramsar de la RDC [19], soit quatre années seulement après sa création. C'est une aire protégée de catégorie II de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) dont l'objectif premier de gestion est non seulement de protéger la biodiversité naturelle, la structure écologique et les processus environnementaux sous-jacents mais aussi de promouvoir l'éducation et les loisirs [20 – 23].

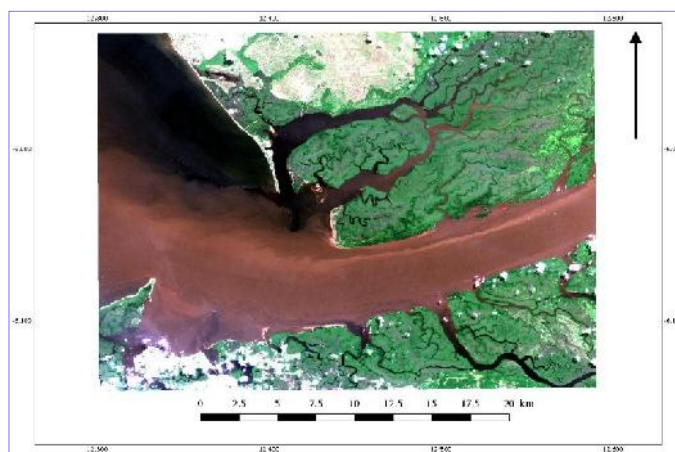
## 2.2 MATÉRIELS

### 2.2.1 IMAGES SATELLITAIRES

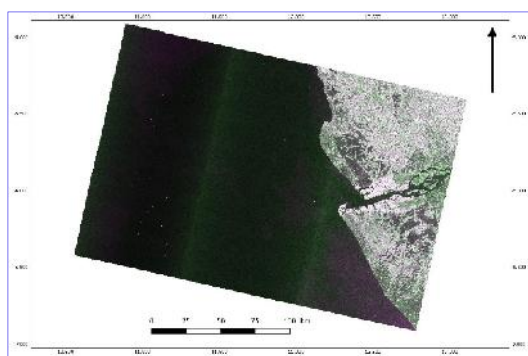
Nous avons utilisé une scène optique Sentinel2 (S2) du 18 juin 2016 (fig.6), dont l'extrait de la zone d'étude est illustré à la figure suivante (fig.7) et une scène radar Sentinel1 (S1), à double polarisation (VV – VH) du 16 mai 2016 (fig.8) et dont l'extrait de la zone d'étude est illustré à la figure ci-après (fig.9).



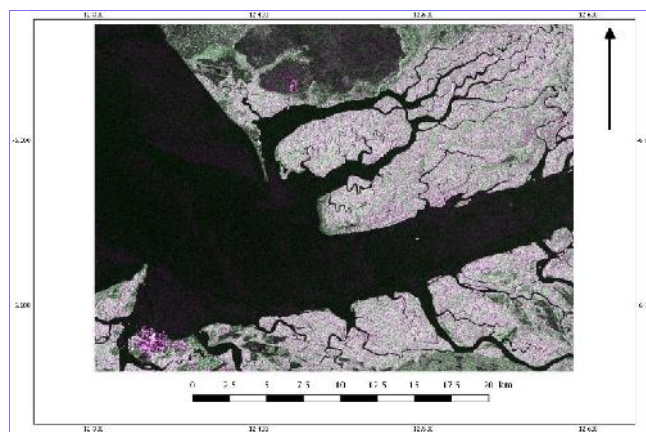
**Fig.6. La scène S2 du 18 juin 2016 (432)**



**Fig.7. Extrait de la scène S2 correspondant de la zone d'étude (432)**



**Fig.8. La scène S1 du 21 mai 2016 (VV-VH-VV)**



**Fig.9. Extrait de la scène S1 correspondant de la zone d'étude (VV-VH-VV)**

Les caractéristiques de la scène S1 utilisée sont résumées dans le tableau ci-après (tab.1) et celles de la scène S2 dans le tableau suivant (tab.2).

**Tableau 1. Caractéristiques de la scène S1 utilisée [24 – 26]**

|                       |                               |
|-----------------------|-------------------------------|
| Fréquence ( bande)    | 5,331 GHz (bande C)           |
| Polarisation          | VV – VH (double polarisation) |
| Résolution spatiale   | 25 m x25 m                    |
| Résolution temporelle | 35 jours                      |

Précisons que la scène S1 initiale est composée de 28 612 x 22 349 pixels alors que l'extrait de la zone d'étude est quant à lui composé de 3 233 x 2 335 pixels, c'est-à-dire 32,3 km\*23,3 km.

**Tableau 2. Caractéristiques de la scène S2 utilisée [27 – 28]**

| Capteur | Bandes | Résolution spatiale | Longueur d'onde moyenne (nm) |
|---------|--------|---------------------|------------------------------|
| MSI     | B1     | 60 m                | 443                          |
|         | B2     | 10 m                | 490                          |
|         | B3     | 10 m                | 560                          |
|         | B4     | 10 m                | 665                          |
|         | B5     | 20 m                | 705                          |
|         | B6     | 20 m                | 740                          |
|         | B7     | 20 m                | 783                          |
|         | B8     | 10 m                | 842                          |
|         | B8A    | 20 m                | 865                          |
|         | B9     | 60 m                | 945                          |
|         | B10    | 60 m                | 1375                         |
|         | B11    | 20 m                | 1610                         |
|         | B12    | 20 m                | 2190                         |

## 2.2.2 DONNÉES DE TERRAIN

Des données de terrain ont été collectées aux fins de la description des principales classes d'occupation de sol de la zone d'étude ainsi que la validation de la classification réalisée. Les classes suivantes ont été retenues :

- *Classe des mangroves hautes*, avec pour principale espèce le *Rhizophora racemoza*, elles sont de couleur « vert foncé » en couleur naturelles (fig.10) et de plus grande taille ; elles ne peuvent survivre que dans l'eau.
- *Classe des mangroves basses*, avec pour principale le *Rhizophora mangle*, elles sont de couleur « vert citron » en couleurs naturelles (fig.11), elles sont de moins grande taille que les premières et ne supportent pas beaucoup d'eau en permanence.
- *Classe de savane herbeuse*, avec plusieurs espèces d'herbacées parmi lesquelles le *Pandanus tectorius* (fig.12) *Imperata cylindrica* (fig.13).
- *classe eau*, avec pour occupation du sol l'eau (fig.14).
- *classe des sols nus*, caractérisée par un sol naturellement ou artificiellement nu (sans végétation, sans eau et sans activités humaines).
- *classe des zones habitées*, faite des zones d'habitations comprenant les maisons, les routes et d'autres infrastructures humaines.



**Fig.10. Mangroves hautes à *Rhizophora racemoza* (MUYAYA B 2016) JP, 2016)** **Fig.11. Mangroves hautes à *Rhizophora mangle* (RUDANT 2016) JP, 2016)**



**Fig.12. Savane herbeuse à *Pandanus tectorius* (MUYAYA B, 2014)** **Fig.13. Savane herbeuse *Imperata cylindrica* (NTADI S, 2016) 2014)**



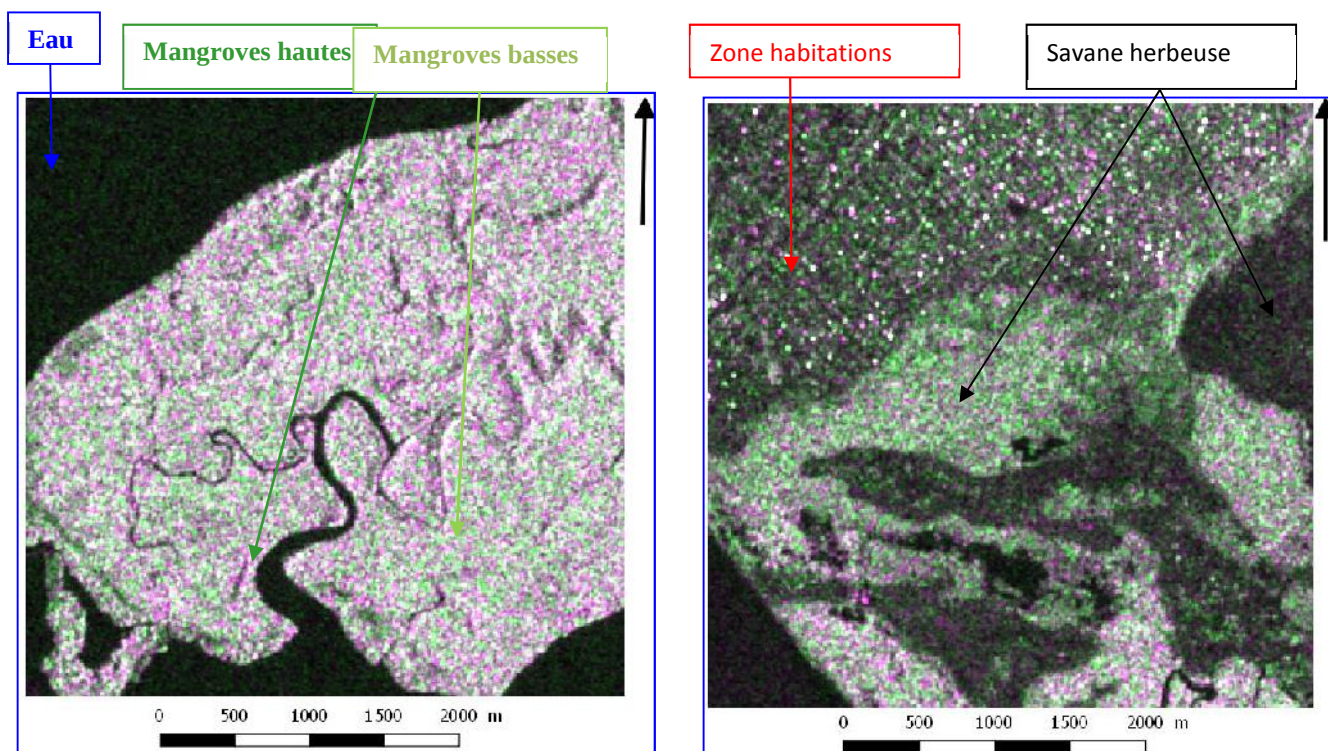
**Fig.14. Eau (MUYAYA B, 2016)**

### **2.2.3 TECHNIQUES UTILISÉES**

#### **2.2.3.1 PHOTO-INTERPRÉTATION**

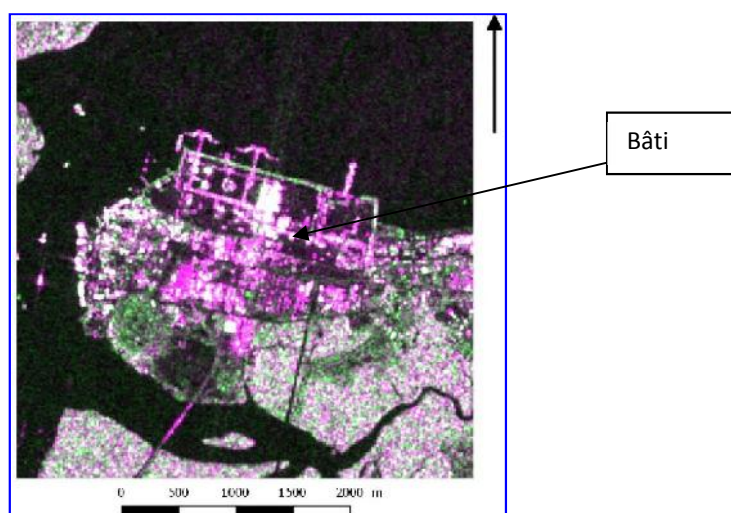
Nous avons premièrement recouru à la photo-interprétation des scènes afin d'y extraire, de manière visuelle, les objets d'intérêt.

La photo-interprétation de l'extrait S1 est directement faite sur les extraits des scènes suivants (fig.15 - 17).



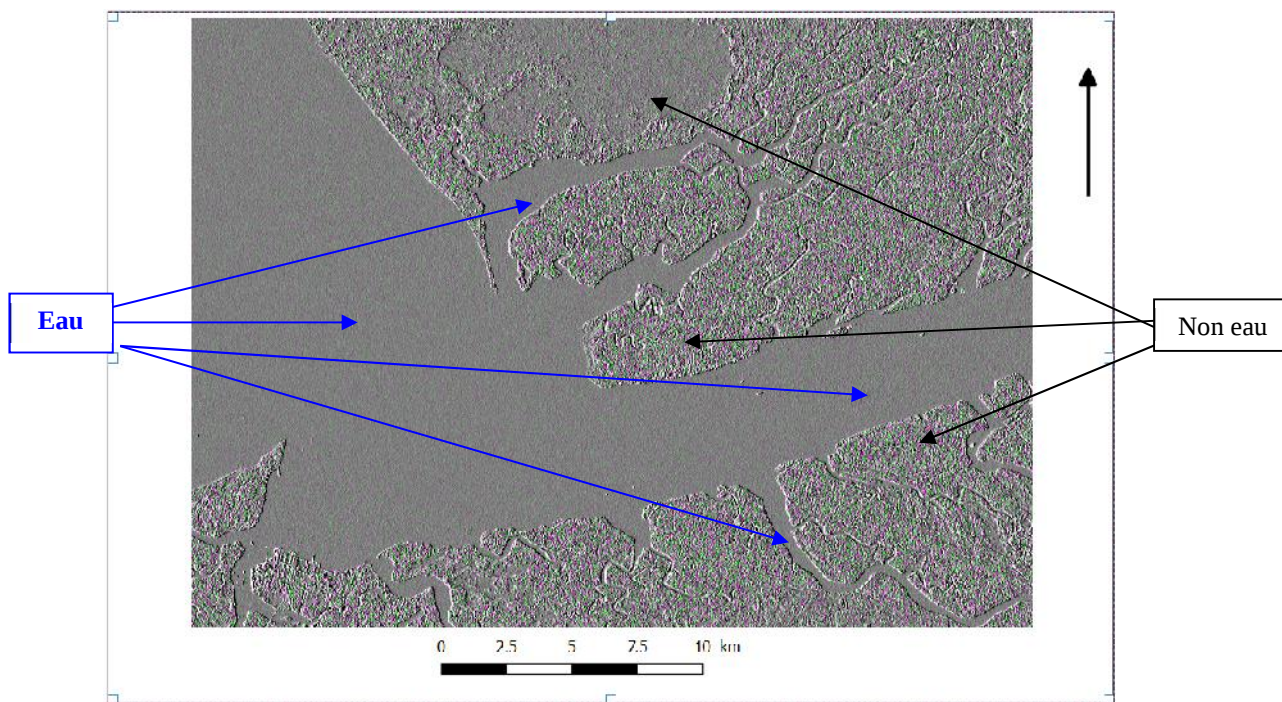
**Fig.15. Extrait S1 : mangrove haute, basse et eau (VV-VH- VV) Fig.16.Extrait S1 : Habitations et savane (VV-VH- VV)**

Sur la figure 15, l'eau est en couleurs sombres, les mangroves hautes sont de couleurs rosâtres alors que les mangroves basses sont de couleurs vert citron. Sur les figures 16 et 17, les habitations et le bâti peuvent être reconnues par leurs formes géométriques plus ou moins régulières, malgré la faible résolution spatiale.



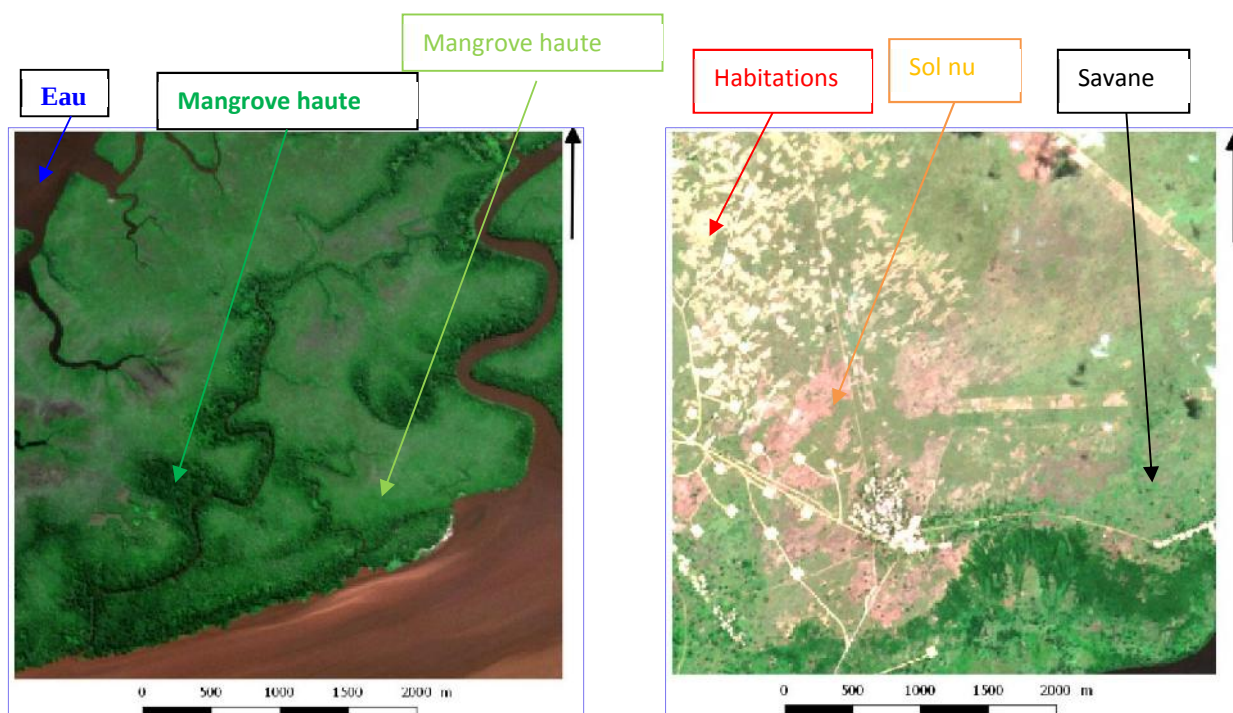
**Fig.17. Extrait S1 ; Constructions de grandes dimensions (VV-VH-VV)**

Nous avons aussi appliqué un filtre directionnel afin de séparer les « zones eau » des « zones non eau » (fig.18)



**Fig.18. Extrait de la scène S1 de la zone d'étude filtré (directionnel) photo interprété (VV-VH-VV)**

Pour la scène S2, la photo-interprétation a été directement réalisée sur les extraits des scènes (fig.19-20).



**Fig.19 Extrait S2 : mangrove haute, basse et eau (432) Fig.20 Extrait S2 : habitation, sol nu et savane (432)**

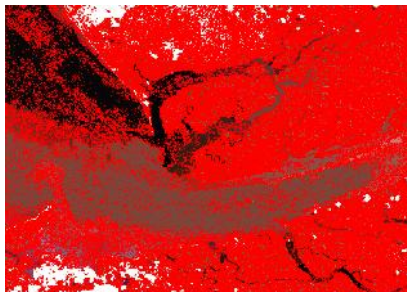
Ainsi, sur la figure 19, l'eau est de couleur sombre, la mangrove haute de couleur vert foncée et la mangrove basse de couleur vert citron. Sur la figure 20, la savane est de couleur vert pâle, le sol nu de couleur rosâtre alors que les habitations sont blanchâtres.

### 2.2.3.2 CLASSIFICATION

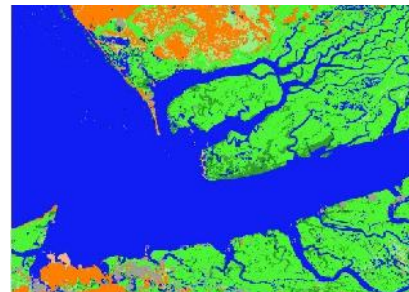
Nous avons recouru à la technique de classification seulement pour l'extrait de la scène S2. Pour cela, nous avons recouru à la classification orientée objet [29 - 31] qui est passée par la segmentation de la scène (fig.21-23)



**Fig.21. Extrait de la scène S2 de la zone d'étude (432)**



**Fig.22. Extrait de la scène S2 de la zone d'étude segmenté**



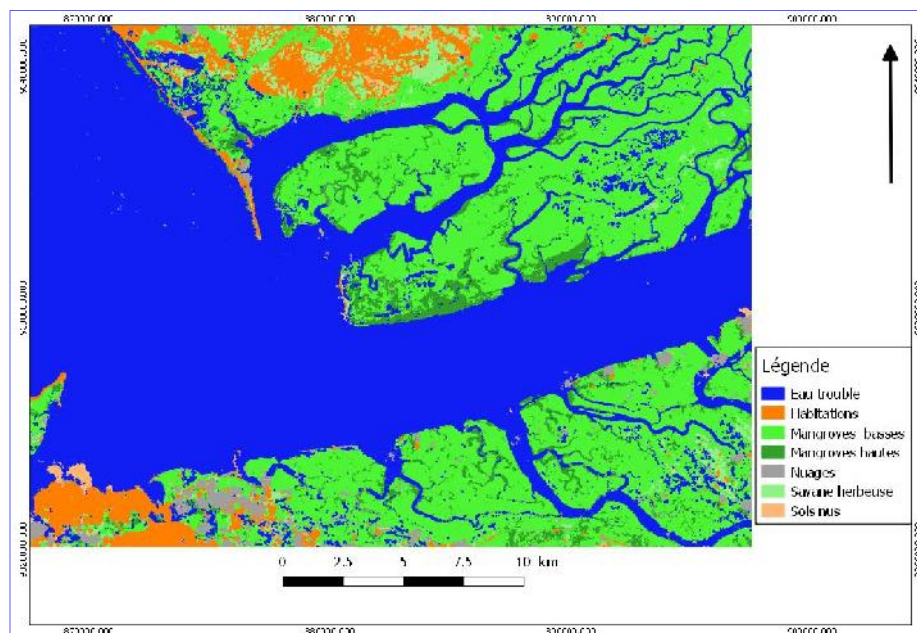
**Fig.23. Extrait de la scène S2 de la zone classifié**

Les résultats de la classification ont été contrôlés à partir de la photo interprétation et des observations de terrain (fig.20 – 26).

La validation de l'interprétation et de la classification a été réalisée grâce aux données collectées sur terrain (vérités de terrain).

## 3 RESULTATS

Les résultats présentés dans le présent papier sont issus, pour la scène S1, de la photo-interprétation seulement voir figures ci-dessus (fig.15 - 18) alors que pour la scène S2 nous avons, en plus de la photo-interprétation, réalisé la classification qui a donné l'occupation du sol (fig.24).



**Fig.24. Carte d'occupation du sol de la zone d'étude à partir de la scène S2 du 18 juin 2016**

#### 4 DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Les résultats montrent que les images S1 et S2, permettent toutes deux, de détecter la *savane*, la *mangrove haute*, la *mangrove basse*, les *zones habitées*, l'*eau*, le *bâti* (de grandes dimensions : bâtiments et installations à caractère industriel). S2 permet, en plus, de détecter le *sol nu*.

Ces résultats sont appréciables au regard du statut de la zone d'étude qui est non seulement une aire protégée, mais aussi une zone littorale qui joue un rôle important dans la conservation de la biodiversité et la protection des côtes. Ils mettent en évidence la capacité des images S1 et S2 à discriminer les principales classes de végétation de la zone. L'application de filtre directionnel sur la scène S1 a permis de distinguer la *classe eau* de la *classe non eau*, ce qui peut s'avérer déterminant pour le suivi de la dynamique des traits de côtes dans un contexte de forte nébulosité sur des longues semaines de l'année. L'apport de l'imagerie radar, en l'occurrence, S1, est donc très appréciable dans la mesure où, elle s'affranchit des effets climatiques (nuages, pluie, et de l'alternance jour nuit (obscurité de nuit)).

En termes de perspective, nous envisageons principalement deux pistes. En premier lieu, l'utilisation de la très haute résolution pour détecter les activités anthropiques au sein du PMM (déboisement, carbonisation ainsi que les activités agricoles). Cela peut être réalisé en recourant aux images SPOT 6/7 et Pléiades.

En deuxième lieu, nous envisageons la détection des pollutions marines des hydrocarbures car celles-ci sont nombreuses dans cette zone traversée par des bateaux transportant des cargaisons d'hydrocarbures. Aussi, faut-il préciser que les alentours de la zone connaissent des activités de production de pétrole.

Pour l'utilisation des images radar S1, nous envisageons l'utilisation de plusieurs images pour mettre en œuvre les filtres multi temporels et afin de réduire l'effet de chatoiement et ainsi d'améliorer la lisibilité des images.

En termes de perspective, nous envisageons deux pistes principalement. D'abord, l'utilisation de la très haute résolution pour détecter les activités anthropiques au sein du PMM (déboisement, carbonisation ainsi que les activités agricoles). Cela peut être réalisé en recourant aux images SPOT 6/7 et Pléiades.

En deuxième lieu, nous envisageons la détection des pollutions marines des hydrocarbures car la zone étant traversée par des bateaux transportant des cargaisons d'hydrocarbures et ayant dans ses alentours des activités de production de pétrole.

Pour l'utilisation des images radar S1, nous envisageons l'utilisation des filtres multi temporels afin de réduire l'effet de chatoiement qui rend difficile l'interprétation et le traitement d'images radar.

#### 5 CONCLUSION

L'objectif de la présente étude étant d'apprécier le potentiel des images optiques S2 et radar S1 du projet *Copernicus* de l'agence spatiale européenne, l'étude nous a effectivement permis de savoir ce que les images S1 et S2 sont toutes deux capables de détecter la *savane*, la *mangrove haute*, la *mangrove basse*, les *zones habitées*, l'*eau*, le *bâti* (de grandes dimensions : bâtiments et installations à caractère industriel) dans le contexte de la zone de notre étude. S2 permet, en plus, de détecter le *sol nu*. Ces résultats mettent en évidence le potentiel des images S1 et S2 pour la cartographie et la surveillance des écosystèmes littoraux dans un contexte des pressions anthropiques de plus en plus fortes et de changement climatique dont les effets doivent être évaluer et quantifiés dans l'optique de l'orientation des stratégies et des politiques de gestion de ces milieux très fragiles mais dont le rôle dans la conservation de l'environnement peut s'avérer déterminant, notamment à l'échelle locale.

#### REFERENCES

- [1] C Béné, A Gordon, B Kambala Lwadia, A Samafu Samene, Etude des activités de pêche sur les rivières bordant le parc national de la Salonga en République Démocratique du Congo, Recommandation sur la mise en place d'une gestion collaborative entre les populations riveraines et l'ICCN, Une collaboration entre WoldFish et WWF-RDC, Rapport, Kinshasa, République Démocratique du Congo, 52 p, 2012.
- [2] ICCN, Stratégie nationale de la conservation de la biodiversité dans les aires protégées de la République Démocratique du Congo, Kinshasa, Kinshasa - République Démocratique du Congo, 18 p, 2008.
- [3] F Brassard, Que conserve-t-on avec le réseau d'aires protégées au Québec ?, Le naturaliste Canadien, Vol.135 n°2, La société Provencher d'Histoire naturelle du Canada, pp.12-23, 2011.
- [4] J Day, N Dudley, M. Hockings, G Holmes, D Laffoley, S Stolton et S Wells, Application des catégories de gestion aux aires protégées : lignes directrices pour les aires marines n° 19, Gland, Suisse, UICN, 36 p, 2012.

- [5] G Borrini-Feyerabend, N Dudley, T Jaeger, B Lassen, N Pathak Broome, A Phillips et T Sandwith, Gouvernance des Aires Protégées : de la compréhension à l'action, Collection des lignes directrices pour les aires protégées n°20, Gland, Suisse : UICN, 114 p, 2014.
- [6] C Vermeulen et F Lanata, Le domaine de chasse de Bombo Lumene: un espace naturel en péril aux frontières de Kinshasa, Parcs et Réserves, Vol. 61, n°2, pp4-8, 2006.
- [7] T Trefon, P Assenmaker & Mutambwe Shango, Bombo-Lumene, espace protégé et menacé en périphérie de Kinshasa, étude de cas n° 4, in P. Assenmaker (Ed.) Gestion participative en Afrique Centrale, Quatre études de cas, GEPAC/ULB, pp127-150, 2007.
- [8] UICN-PAPACO, Renforcer la conservation des aires protégées d'Afrique, Synthèse de la rencontre de Weotenga (Burkina Faso du 25 au 27 octobre 2011), 58p, 2011.
- [9] A Huart, C Tombu, A Van der Elstraeten, Voyager dans le pays des 4 trésors, Eco Congo, Entrepreneuriat - Forêt - Environnement - Société, 13 p, 2012
- [10] Khedam Radja, Contribution au développement de méthodologies de fusion/classification contextuelles d'images satellitaires multi sources : Application à la cartographie thématique du milieu urbain de la ville d'Alger, thèse de doctorat en électronique, spécialité : traitement d'images, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, 214 p, 2008.
- [11] T Toutin, Multi source data fusion with an integrated and unified geometric modeling, EARSeL Advances in remote sensing, vol.4, n°2 – X, 1995, p118-122, 1995.
- [12] N Stach, Évaluation des dégâts de tempête par télédétection satellitaire, Inventaire forestier National - Unité Études et Prospectives, Séminaire GIP ECOFOR - « Forêt vent et risques » 16-17 mars 2005 – Paris, 21 p, 2005.
- [13] Y Guiet – Lycée et R Loewy - La Souterraine, La cartographie d'urgence à l'aide de l'imagerie spatiale, Les inondations causées par la tempête Xynthia (28 février / 1er mars 2010), Cartographie des zones touchées, académie de Limoges, 11 p, 2010.
- [14] JM Nicolas, Les Bases de l'Imagerie Satellitaire, notes de cours, Télécom – Paris Tech, p129, 2012.
- [15] Myldred Montabard, Observation de la Terre et support à la résilience : le projet ANR, Les satellites, un outil au service du développement Conférence AFD - Paris 11 avril 2013, 16 p.
- [16] Benjamin Koetz, Copernicus Space Segment for Agriculture Sentinel-1 & -2 update, European Space Agency, 37 p.
- [17] Mats Rosengren, Sentinel - Collaborative Ground Segment Sweden, User needs - Coverage, Product and Services, Final Report, Study for the Swedish National Space Board December 2014, 28 p
- [18] B Muyaya Kalambay, Rudant J.P., Lumbuenamo Sinsi R., Évaluation par imagerie satellitaire de la dynamique spatiale du parc marin des mangroves de la République Démocratique du Congo entre 2006 et 2015, Afrique SCIENCE 12(5) (2016) 316 - 325 316, ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.info>
- [19] B Muyaya, JP Rudant, R Lumbuenamo, P Muamba, R Tshimanga G Konunga, M Collet, A Wayawo, D Yina, Appréciation du potentiel de la complémentarité entre images satellitaires Sentinel1 et Sentinel2 pour la cartographie du parc marin des mangroves et ses environs en RDC » Séminaire J-Géo 2017 – Libreville – Gabon, du 08 au 10 février 2017.
- [20] UICN, 1978. Categories, objectives and criteria for protected areas. UICN, Gland, Suisse, ( 1978) p26.
- [21] UICN, 1993. Parks for Life: Report of the IVth World Congress on National Parks and Protected Areas, UICN, Gland, Suisse, (1993) 260 p.
- [22] UICN, 1994. Lignes directrices pour les catégories de gestion des aires protégées. CPNAP
- [23] Day J., Dudley N., Hockings M., Holmes G., Laffoley D., Stolton S. & Wells S., 2012. Application des catégories de gestion aux aires protégées : lignes directrices pour les aires marines UICN Gland, Suisse, (2012) 36 p
- [24] Wolfgang Wagner, Time Series Analysis of Sentinel-1 Backscatter Data on a High Performance Computing Platform, Department of Geodesy and Geoinformation (GEO) Vienna University of Technology (TU Wien), 47 p, <http://www.geo.tuwien.ac.at/>
- [25] Andrea Minchella, Sentinel-1 Overview, –“ESA SNAP-Sentinel-1 Training Course” Satellite Applications Catapult -Electron Building, Harwell, Oxfords 21-22/01/2016, 25 p
- [26] Donato Amitrano, Gerardo Di Martino, Antonio Iodice, Francesco Mitidieri, Maria Nicolina Papa, Daniele Riccio and Giuseppe Ruello, Sentinel-1 for Monitoring Reservoirs: A Performance Analysis, Remote Sens. 2014, 6, pp10676-10693; doi:10.3390/rs61110676, [www.mdpi.com/journal/remotesensing](http://www.mdpi.com/journal/remotesensing)
- [27] O Hagolle et al, La mission Sentinel-2, 17 Novembre 2015, 75 p.
- [28] O Hagolle et l'équipe MUSCATE du CNES, La distribution de données Sentinel-2A par THEIA/MUSCATE, Octobre 2016, 32 p.
- [29] Guigues L, Trias-Sanz R, Nesrine Chehata, Taillandier F & Deveau M, Segmentation multi- échelles d'images : théorie et applications, Bulletin d'Information, Scientifique & Technique de l'IGN n° 75 (2006/1), pp41-5, 2006.

- [30] Hanifi Majdoulayne, 2009. Extraction de caractéristiques de texture pour la classification d'images satellites, thèse de doctorat, l'Université Toulouse III – Paul Sabatier Discipline ou spécialité : Informatique et Télécommunications, p97.
- [31] Beghouri Mohamed Amine, Segmentation multi sources des Images Satellitaires par l'algorithme Firefly, mémoire de magister, Université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Département d'informatique, 99 p, 2012.

## Fate of pathogenic parasites in sewage sediments and environmental components

**Omar Amahmid<sup>1-3</sup>, Souad Asmama<sup>2</sup>, and Khadija Bouhoum<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Department of Life and Earth Sciences,  
Regional Centre for Careers of Education and Training, CRMEF,  
Marrakesh, Morocco

<sup>2</sup>Laboratory of Biomedical Analysis,  
Ibn Tofail Hospital, CHU Mohamed VI,  
Marrakesh, Morocco

<sup>3</sup>Laboratory of Hydrobiology, Ecotoxicology and Sanitation (LHEA),  
Dept. of Biology, Faculty of Sciences Semlalia. University Cadi Ayyad,  
Marrakesh, Morocco

---

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The purpose of the current study was the assessment of the persistence of *Ascaris* eggs and *Giardia* cysts in sewage products and environmental components commonly implicated in the transmission of these pathogen parasites. In fact, wastewater and sewage sediments reuse for agricultural purposes has the potential to contaminate water supplies, soil and crops. The ability of parasites cysts to persist in the environment may threaten public health. So, destruction rates of parasite cysts and eggs in stored sediments, crops and soil were examined to help understand the fate of these agents in sewage products and environmental components. In lagoon stored sewage sediments, *Ascaris* eggs disappeared after approximately 180 days of storage versus 49 days for sediments stored under ambient laboratory conditions, and less than 18 days in dried sediments. *Giardia* cysts persisted less than one month lagoon-stored sediments, up to 24 days under laboratory conditions and less than 9 days in dried sediments. For parasites persistence on crops, *Ascaris* eggs persisted on lucerne for 6 days while *Giardia* cysts have not been detected for longer periods than 3 days after contamination. In soil, *Ascaris* eggs were not isolated in periods greater than 90 days, while *Giardia* cysts were not discovered 3 days after contamination induced by wastewater.

**KEYWORDS:** *Ascaris*, *Giardia*, persistence, storage, drying, sewage sediments, soil, crops.

### 1 INTRODUCTION

Global climate change is expected to exacerbate current and future stresses on water resources from population growth and irrigation [1]. Consequently, sewage reuse for irrigation purposes attempts to reduce the pressure over the fresh water resources, at the same time it carries other benefits such as improving crop yields and soil fertility [2], [3], [4]. The main concern of sewage reuse seems to be the health implications to exposed populations, primarily due to the possible presence of wide range of pathogenic organisms, such as parasites, that may engender a health hazard to the humans [5], [6]. Several researches have demonstrated that sewage reuse for irrigation purposes led to environmental waters, soil and crops contamination; and epidemiological studies revealed an increase of parasitic infections prevalence among the exposed populations [7], [8], [9]. The current rules for sewage reuse recommend parasitological examination for detection of the indicator parasites. The geohelminth *Ascaris* is one of the most significant enteric pathogens often used as a parasitological indicator. In fact, Ascariasis is an infection of global distribution, considered as worldwide public health problem affecting more than 1.4 billion people [10], [11]. *Giardia* is another pathogen protozoa of primary public health concern for sewage reuse, causing gastrointestinal disease Giardiasis [12]. It is a cosmopolitan parasite, which may infect human beings and animals causing diarrhea and weight loss, and was

responsible for many outbreaks of waterborne disease in many countries [13], [14]. Infected humans and animals pass large amounts of eggs and cysts in feces, therefore their presence in sewage and environmental components. How long an excreted pathogen can persist in the environment is the property most indicative of the health hazard it engenders [15]. Yet information on the persistence of these pathogen parasites in environmental components commonly implicated in their transmission is sparse and scarce. The current study aimed to assess the persistence of *Ascaris* eggs and *Giardia* cysts in sewage sediments (stored and dried), soil and crops under arid climate of Marrakesh, Morocco. The study findings could therefore contribute to advise farmers and exposed groups, and gain insight on methods of disposing waste and precautions to be taken when handling or consuming the agricultural products so as to reduce or eliminate environmental contamination and limit the potential health hazards for humans and animals.

## 2 MATERIALS AND METHODS

### 2.1 INVESTIGATION OF PARASITES PERSISTENCE IN SEDIMENTS

In order to assess parasites persistence in sewage sediments under different storage conditions, batches of sewage sediments with initially known concentrations of *Ascaris* eggs and *Giardia* cysts, were placed into plastic bottles in lagoon bottom, and were examined monthly. Other amounts of sewage sediments were stored in closed bottles under ambient laboratory conditions. To investigate the impact of drying process on the persistence level of parasites, sewage sediments were dried outdoor subjected to normal temperature fluctuations (in Summer), which represented an attempt to simulate conditions in drying beds. Samples of 10 ml (stored sediments) and 5g (dried sediments) were analysed periodically for eggs and cysts quantification, and the relative humidity (RH) of sediments was assessed along the drying process.

### 2.2 INVESTIGATION OF PARASITES PERSISTENCE IN SOIL AND CROPS

The assessment of *Ascaris* eggs and *Giardia* cysts persistence in soil and crops was investigated by a study of their concentrations after the last contamination induced by raw sewage application (in Summer and Autumn). For crops, lucerne was retained as it is largely cultivated for animal feeding and frequently handled by farmers and their families. In addition, it would aid to highlight the effect dense foliage may have on pathogen persistence.

To ensure eggs and cysts desorption from soil particles, 40 ml of hypochlorite solution were added to soil samples of 10g and 5g, respectively, for 30 min. Samples were centrifuged at 2164xg (3500 rpm.) for 15 minutes. The supernatant was discarded and the residue carefully collected. Lucerne samples were washed in saline solution (0.95% NaCl) and the washing water was left for about 10 hours for sedimentation to take place. The top layer was discarded and the remaining washing water was centrifuged at 2164xg for 15 minutes. The supernatant was discarded and the residue carefully collected [16].

Concentration of *Giardia* cysts in the centrifugation residues as well as in stored and dried sediment samples was realized by a technique of Bailenger [17] and a similar procedure was used for *Ascaris* eggs concentration in sediment samples. *Ascaris* eggs concentration in soil and lucerne samples, was performed with a flotation technique according to the protocol described by Bouhoum and Schwartzbrod [18]. For eggs and cysts identification and enumeration, microscopic observation was done in a Thoma counting cell at 400x magnification for *Giardia* cysts and in a MacMaster counting cell at 100x magnification for *Ascaris* eggs.

## 3 RESULTS

### 3.1 PERSISTENCE IN SEWAGE SEDIMENTS

Destruction rates of parasite eggs and cysts in stored sediments were examined monthly to help understand the fate of these agents of enteric diseases in sewage sludge. For sediments stored at lagoon conditions, the number of *Ascaris* eggs and *Giardia* cysts discovered in sediment samples decreased with storage time. *Ascaris* eggs occurred for longer periods in stored sediments. In fact, 60 days after the onset of storage, the initially concentration of  $17.8 \times 10^2$  eggs/100g dry weight (d.w) declined to  $10.12 \times 10^2$  eggs/100g d.w. After 180 days of storage they were highly reduced in sediments and were isolated with a number of 47 eggs/100g d.w. Thereafter, they were not detected in analysed samples (Fig. 1). Similarly, for sediments stored under ambient laboratory conditions, a relatively rapid reduction of *Ascaris* eggs. The original detected *Ascaris* number at the onset of storage  $2.71 \times 10^2$  eggs/100g d.w highly declined within 21 days and reached a level of  $1.17 \times 10^2$  eggs/g d.w. A very lower eggs concentration of 23 eggs/100g d.w was detected in sediments stored for 49 days, while *Ascaris* eggs were not discovered for greater periods of storage.

With respect to the impact of drying process on *Ascaris*, the survey, carried out in Autumn, resulted in a faster decrease in eggs numbers as compared to the storage impact. The parasite initially recorded number was  $8.25 \times 10^2$  eggs/100g d.w and within 6 days of exposure the detected level declined to  $2 \times 10^2$  eggs/100g d.w (75.75% reduction rate). The analysis carried out after 15 days of drying resulted in a lower egg level of 65 eggs/100g d.w. Sediments dried for 18 days and longer periods did not contain *Ascaris* eggs (Fig. 1).

Regarding *Giardia* cysts, the effect of sediment storage and drying process was more marked and shorter persistence periods were observed. Indeed, *Giardia* cysts with an initial number of  $3.4 \times 10^4$  cysts/100g d.w were not discovered in lagoon-stored sediment after one month (30 days) of storage. For sediment stored under laboratory conditions, while the initial cyst number was  $16.4 \times 10^3$  cysts/100g d.w, within 8 days of storage it highly declined to  $2.29 \times 10^3$  cysts/100g d.w (86.03% reduction rate). After 20 days of storage *Giardia* cysts have been discovered in stored sediments with a concentration of  $1.05 \times 10^3$  cysts/100g d.w, and no cyst was isolated later. The drying process resulted in a faster decrease of *Giardia* cysts concentrations. The original recorded number of  $12.6 \times 10^3$  cysts/100g d.w declined to  $9.4 \times 10^2$  cysts/100g d.w within 6 days of exposure, and cysts were not isolated in sediments dried for 9 days (Fig.2).

The assessment of sediment RH variation along the drying process revealed a decline in the initial sediment RH from 75.8% to 2.8% and strong positive correlation with parasite numbers was recorded ( $R^2=0.99$ ).

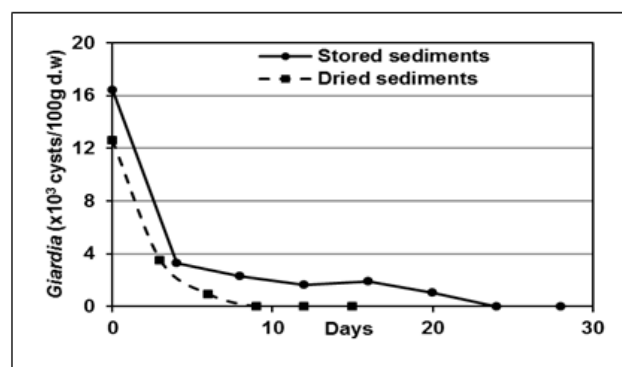
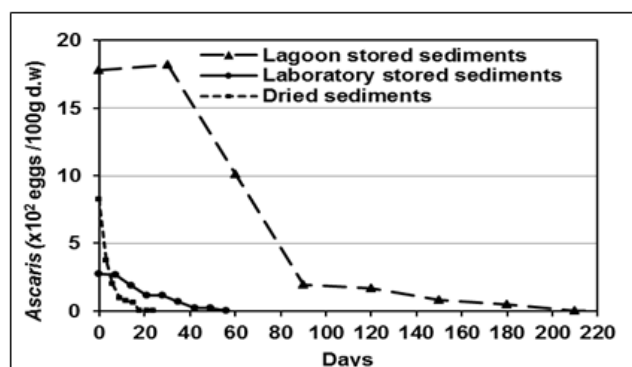


Fig. 1. Occurrence of *Ascaris* eggs in stored and dried sediment. Fig. 2. Occurrence of *Giardia* cysts in stored and dried sediment.

### 3.2 PERSISTENCE IN SEWAGE SOIL AND LUCERNE

The initial level of *Ascaris* eggs in sewage-contaminated soil was 52.7 eggs/100g d.w. After 60 days, eggs count decreased considerably reaching 36 eggs/100g d.w, corresponding to a reduction rate of 31.7%. Only 17 eggs/100g d.w were found in soil after 90 days of soil exposure, while eggs were not isolated in soil samples analysed after 120-day period. For *Giardia* cysts, the carried out analyses showed an initial concentration of  $4.76 \times 10^3$  cysts/100g d.w in contaminated soil. Within two days, a significant decrease occurred in cyst numbers with a recorded concentration of  $1.19 \times 10^3$  cysts/100g d.w (43.64% as reduction rate). Thereafter sediment samples were found to be free of *Giardia* cysts (Fig. 3).

In order to assess the degree of persistence of helminth eggs and protozoan cysts on lucerne, a daily monitoring of parasite numbers was conducted after the last contamination induced by sewage (in Autumn). The obtained results showed a reduction in recovered *Ascaris* eggs and *Giardia* cysts counts over time. The initially recorded numbers were 3.76 eggs/kg and  $4.11 \times 10^3$  cysts/kg for *Ascaris* and *Giardia*, respectively. After three days of exposure to hostile environmental factors, eggs and cysts numbers decreased significantly reaching 0.53 eggs/kg and 119 cysts/kg, respectively. *Giardia* cysts were not detected after 4 days of exposure while *Ascaris* eggs were more persistent and were discovered at a level of 0.56 eggs/kg, within 6 days after crop contamination. Thereafter, eggs were not isolated in lucerne samples (Fig. 4).

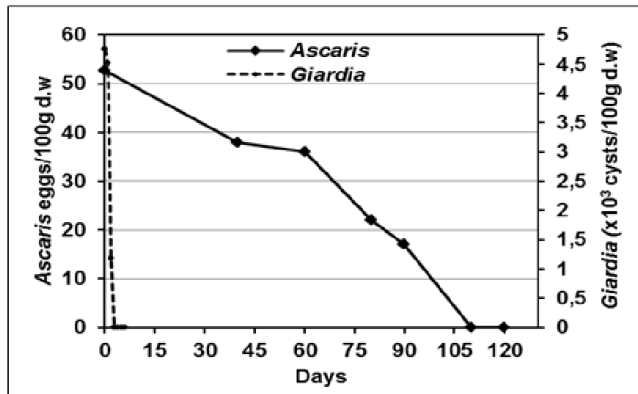


Fig. 3. Occurrence of *Ascaris* eggs and *Giardia* cysts in soil.

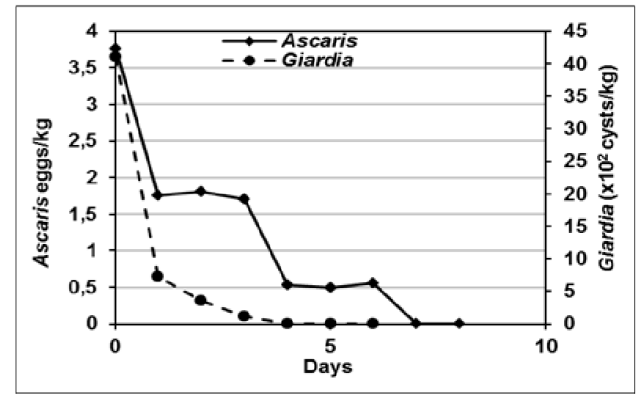


Fig. 4. Occurrence *Ascaris* eggs and *Giardia* cysts on Lucerne.

## 4 DISCUSSION

### 4.1 PERSISTENCE IN SEWAGE SEDIMENTS

The presence of both helminth eggs and protozoan cysts in sediment suggested that sedimentation is the main process which may be involved in the reduction of pathogens in sewage treatment systems. Several studies have found that parasite cysts and eggs tend to concentrate in sediments of polluted surface waters [19], [20], [21]. Thus, the bottom sediments of constructed systems could potentially serve as a reservoir of human pathogens, which could be released into the water column, and may contaminate soil and crops when they are used as fertilizers [22], [23]. However, once sewage material is placed on the land, parasite eggs and cysts could become infectious agents, thus posing a potential threat to the health of humans and animals and the degree of risk is associated with pathogens persistence in the environment and sewage products. The current survey results showed that eggs and cysts numbers detected in stored sediment samples decreased with storage time. The more the storage time is extended the less parasite cysts and eggs were discovered. After 24 days of storage it would be possible to get cyst-free sediment while longer storage period of 180 days (6 months) is required for *Ascaris* eggs destruction for lagoon-stored sediment. So, the effect of storage appears more destructible on *Giardia* cysts as compared with *Ascaris* eggs. These findings concur with data extracted from the literature [24], [25]. It has been reported that *Ascaris* may persist in sludge stored for several weeks or even months [26], and when sludge contained *Ascaris* eggs, it should be stored for at least three months before it is applied to agricultural land [15]. Longer resistance periods, ranging from 1 to 3 years, were reported for *Ascaris* eggs in stored sediment [27]. A study was carried out to investigate the destruction rate of parasite eggs stored in sludge under controlled conditions and to gain insight on their destruction rates in lagoons. Helminth eggs commonly found in sludge, including *Ascaris*, were seeded into sludge and samples were stored at 4°C, 25°C and in ground, under ambient outdoor conditions and subject to normal temperature fluctuations. Destruction of eggs occurred, especially within the first 3 months, and the recovery rate decreased inversely with the storage temperature [28]. For protozoan cysts, the persistence of *Entamoeba histolytica* cysts in sludge has been reported to be up to 30 days, but often lesser than 15 days [29]. However, when studies are carried out under controlled laboratory conditions they may not precisely reflect the conditions that occur in actual lagoons currently used for storage of sludge [28].

Sediment drying process ensured total destruction of *Ascaris* eggs and *Giardia* cysts within relatively shorter periods compared to sediment storage. *Ascaris* eggs were more resistant than *Giardia* cysts as they were isolated in dried sediment within 6 and 15 days of drying, respectively. Elsewhere, *Ascaris* eggs were found to persist in sediments for 14 days drying period and the highest decrease in number was observed during the first two days [30]. Other studies showed that *Ascaris* eggs destruction in drying beds required at least 8 months and sediment moisture reduction during the drying process would be harmful for eggs and cysts [31]. The *Ascaris suum* die-off in sludge drying beds were found to increase with increasing exposure time. The drying bed temperature as well as air temperature significantly affected eggs, and their destruction may occur as a result of desiccation [32], [33]. In conditions where the daily temperatures are considerably lower the persistence is considerably longer [24].

### 4.2 PERSISTENCE IN SOIL AND LUCERNE

The occurrence of *Ascaris* eggs in sewage irrigated soil reveals the risk of transmission to the human population, especially farm workers and children, and raises the issue of hygiene standards and public health risks at sites sewage products disposal

and reuse [34]. Of all the investigated components, the longest persistence of *Ascaris* eggs was observed in soil as they were detected up to 90 days (3 months) after contamination. *Giardia* cysts were not isolated in soil samples within 3 days. It is apparent from these results that the persistence of cysts on soil is similar to that recorded on crops, but eggs persisted for longer periods. In fact, soil is an important environmental component for *Ascaris* transmission as it is a soil-transmitted helminth (geohelminth), requiring an essential phase of its life cycle in the soil during which the infective stage is protected and preserved. *Ascaris* can persist for months to years in soils under harsh conditions [35]. Further reports quoted that the longest time that protozoan cysts may resist in soil was about 180 days versus 7 years for helminth eggs [36], while other authors indicated that *Ascaris* eggs can persist for over a year in soil that has been irrigated with sewage sludge [37]. Several environmental factors could affect the persistence of intestinal parasites in soil and pathogens may respond differently to variations in environmental conditions to which they are exposed [38], [39]. Among these conditions, temperature and relative humidity have been regarded as the most critical factors in the cysts and eggs persistence in the environment which is extended in moist soils at cool temperatures [40], [41]. The gradual recorded disappearance of eggs and cysts with time is mainly due to desiccation associated high temperatures with moisture lost mainly during dry hot period with high sunlight exposure (Summer and Autumn). Researches conducted on *Ascaris* eggs persistence resulted in 27-35 days during hot dry Summers versus 5-6 months during the Winter season [42]. In addition, it has been demonstrated that different environmental pressures influence the degradation of *Giardia* cysts, which are much more susceptible to environmental constraints than helminth eggs and studies have revealed that *Giardia* cysts are vulnerable to rapid degradation in soil and by freezing and high and diurnal changes in temperature [43], [44]. It has been suggested that organic matter content and vegetation may affect eggs and cysts persistence [45].

Raw sewage reuse led to contamination of lucerne with *Ascaris* eggs and *Giardia* cysts. These parasites are pathogenic agents for humans and animals and consumption or handling of such contaminated agricultural crops is considered unsafe and might constitute a risk for farmers and the whole population [46]. Epidemiological studies have revealed an excess of parasitic infestations associated with sewage reuse in irrigation [47]. Reports indicated that irrigation with raw sewage caused an excess prevalence of *Ascaris* infection, both in workers in raw-wastewater-irrigated fields and in consumers of raw-wastewater-irrigated crops eaten uncooked [29]. The incidence of parasitic diseases in consumers and handlers of sewage-irrigated crops was found to be higher than that of the control population [8].

The persistence of *Ascaris* eggs and *Giardia* cysts assessment on lucerne showed a decrease of their concentrations over time. After contamination induced by raw sewage application, 6 and 9 days were sufficient for cysts and eggs disappearance, respectively. In comparison with the findings recorded by other authors, a dispersion in reported persistence period was recorded. According to the USEPA [36] the longest time that protozoan cysts may survive on crops was about 5 days, and it was reported that *Giardia* cysts can resist up to 10 days on crops [24]. An early survey indicated that protozoan cysts are extremely sensitive to desiccation and may resist from 3 days to 2 weeks, depending on climate conditions and type of crops [48]. For *Ascaris* eggs, a persistence period of 10 days was reported [49], while other investigations mentioned that *Ascaris lumbricoides* eggs may persist on crops up to 60 days but usually less than 30 days [50]. The persistence of parasites on crops tends to be much shorter. Factors such as intense solar radiation, high temperature and low humidity would be in favor of cysts and eggs desiccation reducing the persistence of microorganisms [51], [52]. Helminth eggs persistence on crops is affected by surface properties. Smooth surface vegetables tend to harbour very small numbers. In contrast low growing, hairy, sticky, rough or crops with crevices and dense foliage tend to show higher contamination levels and have the ability to hold on to water creating a more favorable environment to ensure protection from hostile environmental factors [9], [53]. Since sewage reuse for crops irrigation is source of contamination with pathogens parasites, harvesting, and processing of contaminated crops involves significant risks for agricultural workers and their families as well as to crops handlers and consumers [54]. The current study findings confirm that contaminated crops may be considered safe for humans and animals if a natural decontamination period is maintained between the last application of contaminating material (sewage, sludge ...) and harvesting.

## 5 CONCLUSION

Land application of sewage products is a source of contamination of soil and crops. The ability of parasites eggs and cysts to persist in the environment may engender public health hazards. The persistence may depend on several factors including the type of pathogen, the concerned environmental component, climate conditions... The greatest resistance to hostile environmental factors was observed for *Ascaris* eggs, isolated within 3 months of exposure in soil and 6 days on lucerne. *Giardia* cysts were less resistant and persisted for few days in soil and lucerne. Therefore, a natural decontamination period has to be maintained between the last application of sewage and crop harvesting. Sewage products have to be treated to eliminate pathogens before reuse. Storage and drying processes may be used for sewage sediments treatment. Drying process resulted in destruction of *Ascaris* eggs and *Giardia* cysts in shorter periods as compared to storage which required longer durations.

## REFERENCES

- [1] UNESCO, *Managing water under uncertainty and risk: executive summary*, The United Nations World Water Development Report 4, UNESCO CLD, Paris, 2012.
- [2] B. Keskin, I.H. Yilmaz, M.A. Bozkurt and H. Akdeniz, "Sewage Sludge as Nitrogen Source for Irrigated Silage Sorghum", *Journal of Animal and Veterinary Advances*, vol. 8, pp. 573-557, 2009.
- [3] P.K. Singh, P.B. Deshbhratar and D.S. Ramteke, "Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment", *Agricultural Water Management*, vol. 103, pp. 100-104, 2012.
- [4] T.P. Abegunrin, G.O. Awe, D.O. Idowu, O.O. Onigbogi and O.E. Onofua, "Effect of kitchen wastewater irrigation on soil properties and growth of cucumber (*Cucumis sativus*)", *Journal of Soil Science and Environmental Management*, vol. 4, pp. 139-145, 2013.
- [5] WHO, *L'utilisation des eaux usées en agriculture et en aquaculture: recommandations à visées sanitaires*, Rapport Technique 778, Genève, 1989.
- [6] J. Mateo-Sagasta, K. Medicott, M. Qadir, L. Raschid-Sally, P. Drechsel and J. Liebe, *Safe use of wastewater in agriculture*, J. Liebe, R. Ardakanian (Eds), Published by UNW-DPC, Bonn, 2013.
- [7] E. Cifuentes, U. Blumenthal, G. Ruiz-Palacios and S. Bennet, "Biological health risks associated with the composting of wastewater plant sludge", *Journal of Water Pollution Control Federation*, vol. 56, pp. 1269-1276, 1992.
- [8] O. Amahmid and K. Bouhoum, "Assessment of the health hazards associated with wastewater reuse: Transmission of geohelminthic infections (Marrakech, Morocco)", *International Journal of Environmental Health*, vol. 13, pp. 17-23, 2005.
- [9] J.H. Ensink, T. Mahmood and A. Dalsgaard, "Wastewater-irrigated vegetables: market handling versus irrigation water quality", *Tropical Medicine and International Health*, vol. 7, pp. 2-7, 2007.
- [10] U.J. Blumenthal, M. Strauss, D.D. Mara and S. Cairncross, "Generalised model of the effect of different control measures in reducing health risks from waste reuse", *Water Science and Technology*, vol. 21, pp.567-577, 1989.
- [11] I. Wani and M. Nazir, "Historical review of intestinal ascariasis: surgical history", *Global Journal of Medical Research*, vol. 10, pp. 2-10, 2010.
- [12] G.F. Craun and S.H. Via, "Waterborne outbreaks of cryptosporidiosis", *Journal of American Water Works Association*, vol. 90, pp. 81-91, 1998.
- [13] Constantine C.L., Hales D. and Dawson D.J., *Outbreaks of giardiasis caused by a contaminated private water supply in the Worcester area*, In W.B. Betts, D. Casemore, C. Fricker, H. Smith and J. Watkins (Eds), *Protozoan parasites and water*, The Royal Society of Chemistry, pp. 50-52, 1995.
- [14] R.C.A Thompson, "The zoonotic significance and molecular epidemiology of *Giardia* and giardiasis", *Veterinary Parasitology*, vol. 126, pp. 15-35, 2004.
- [15] Mara D., *Domestic wastewater treatment in developing countries*, Earthscan, London, 2004.
- [16] O. Amahmid, S. Asmama and K. Bouhoum, "The effect of wastewater reuse in irrigation on the contamination level of food crops by *Giardia* cysts and *Ascaris* eggs", *International Journal of Food Microbiology*, vol. 49, pp. 19-26, 1999.
- [17] J. Bailenger, "Valeur comparée des méthodes d'enrichissement en coprologie parasitaire", *Le pharmacien Biologiste*, vol. 3, pp. 249-259, 1962.
- [18] K. Bouhoum and J. Schwartzbrod, "Quantification of helminth eggs in wastewater", *Zentralblatt für Hygiene*, vol. 188, pp. 322-330, 1989.
- [19] A.M. Grimason, H.V. Smith, W.N. Thitai, P.G. Smith, M.H. Jackson and W.A. Girdwood, "Occurrence and removal of *Cryptosporidium* sp. oocysts and *Giardia* sp. cysts in Kenyan wastewater stabilization ponds", *Water Science and Technology*, vol. 27, pp. 97-104, 1993.
- [20] K. Bouhoum, O. Amahmid and S. Asmama, "Occurrence and removal of protozoan cysts and helminth eggs in waste stabilization ponds in Marrakech", *Water Science and Technology*, vol. 42, pp. 159-164, 2000.
- [21] O. Amahmid, S. Asmama and K. Bouhoum, "Urban wastewater treatment in stabilization ponds: occurrence and removal of pathogens", *Urban Water*, vol. 4, pp. 255-262, 2002.
- [22] T.E. Carroll, D.L. Maase, J.M. Genco and C.N. Ifeadi, *Review of land-spreading of liquid municipal sewage sludge*, Environmental Protection Technology Series, EPA-670/2-75-049, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, 1975.
- [23] M.R. Karim, F.D. Manshadi, M.M. Karpiscak and C.P. Gerba, "The persistence and removal of enteric pathogens in constructed wetlands", *Water Research*, vol., 38, pp. 1831-1837, 2004.
- [24] R.G. Feachem, D.J. Bradely, D. Garelick and D.D. Mara, *Sanitation and disease : Health aspects of excreta and waste water management*, John Wiley and Sons Eds, Chichester, 1983.
- [25] R. Stott, R. Ayres, D. Lee and D. Mara, "An experimental evaluation of potential risks to human health from parasitic nematodes in wastewaters treated in waste stabilization ponds and used for crop irrigation". Research Monographs in Tropical Public Health Engineering, N°6, 1994.
- [26] Kowal N.E., *Health effects of land application of municipal sludge*, Report of USEPA, vol. 600, pp. 3-38, 1985.

- [27] J. Schwartzbrod, M.T. Thevenot, J. Collomb and J.M. Baradel, "Parasitological study of wastewater sludge", *Environmental Technology Letters*, vol. 7, pp. 155-162, 1986.
- [28] C.J. O'Donnell, K.B. Meyer, J.V. Jones, T. Benton, E.S. Kaneshiro, J.S. Nichols and F.W. Schaeffer, "Survival of parasite eggs upon storage in sludge", *Applied Environmental Microbiology*, vol. 48, pp. 618-625, 1984.
- [29] Shuval H.I., Adin A., Fattal B., Rawitz E. and Yekutieli P., *Wastewater irrigation in developing countries health effects and technical solutions*, World Bank Technical Paper N°51, Washington, 1986.
- [30] M.H. Al Malack, A.A. Bukhari and N.S. Abuzaid, "Fate of pathogens in sludge sand drying beds at Qateef, Khobar and Dammam: A case study", *International Journal of Environmental Research*, vol. 1, pp. 19-27, 2007.
- [31] Firadi R., *Epuración et réutilisation des eaux usées de la ville de Ouarzazate en agriculture: Devenir des œufs d'helminthes et étude de leur viabilité dans les eaux usées et les boues*, Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, Faculty of Sciences Semlalia, University Cadi Ayyad, Marrakesh, 1996.
- [32] P. Plachy, I. Placha and M. Vargova, "Effect of physico-chemical parameters of sludge aerobic exothermic stabilization on the viability of *Ascaris suum* eggs", *Helminthologia*, vol. 32, pp. 233-237, 1995.
- [33] L.Y. Chung, B.H. Fang, J.H. Chang, S.M. Chye and C.M. Yen, "The infectivity and antigenicity of *Toxocara canis* eggs can be retained after long-term preservation", *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, vol. 98, pp. 251-260, 2004.
- [34] S.N. Mohd Zain, R. Rahman and J.W. Lewis, "Stray animal and human defecation as sources of soil-transmitted helminth eggs in playgrounds of Peninsular Malaysia", *Journal of Helminthology*, vol. 89, pp. 740-747, 2015.
- [35] B. Jimenez, "Helminth ova removal from wastewater for agriculture and aquaculture reuse", *Water Science and Technology*, vol. 55, pp. 485-493, 2007.
- [36] USEPA, *Environmental regulations and technology: Control of pathogens and vector attraction in sewage sludge*, Report No. EPA/625/R-92/013, Washington, DC, 1992.
- [37] D. Strauch, "Survival of pathogenic micro-organisms and parasites in excreta, manure and sewage sludge", *Scientific and Technical Review of the International office of Epizootics*, vol. 10: pp. 813-846, 1991.
- [38] T.D. Mangal, S. Paterson and A. Fenton, "Predicting the impact of long-term temperature changes on the epidemiology and control of schistosomiasis: a mechanistic model", *PLoS ONE* 3(1): e1438. doi:10.1371/journal.pone.0001438, 2008.
- [39] A. Alum, I.M. Absar, H. Asaad, J.R. Rubino and M.K. Ijaz, "Impact of environmental conditions on the survival of *Cryptosporidium* and *Giardia* on environmental surfaces", *Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases*, vol. 2014, pp. 1-7, 2014.
- [40] S.J. Kutz, E.P. Hoberg, L. Polley and E.J. Jenkins, "Global warming is changing the dynamics of Arctic host-parasite systems", *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 272, pp. 2571-2576, 2005.
- [41] P.J. Hudson, I.M. Cattadori, B. Boag and A.P. Dobson, "Climate disruption and parasite-host dynamics: patterns and processes associated with warming and the frequency of extreme climatic events", *Journal of Helminthology*, vol. 80, pp. 175-182, 2006.
- [42] S. Yoshida, "On the resistance of *Ascaris* eggs", *Journal of Parasitology*, vol. 6, 132-139, 1920.
- [43] M.M. Marshall, D. Naumovitz, Y. Ortega and C.R. Sterling, "Waterborne protozoan pathogens", *Clinical Microbiology Review*, vol. 10, pp. 67-85, 1997.
- [44] B.J. King, A.R. Keegan, P.T. Monis and C.P. Saint, "Environmental temperature controls *Cryptosporidium* oocyst metabolic rate and associated retention of infectivity", *Applied Environmental Microbiology*, vol. 71, pp. 3848-3857, 2005.
- [45] A.M. Nasser, E. Tweto and Y. Nitzan, "Die-off of *Cryptosporidium parvum* in soil and wastewater effluents", *Journal of Applied Microbiology*, vol. 102, pp. 169-176, 2007.
- [46] W.A.I Al Megrin, "Prevalence intestinal parasites in leafy vegetables in Riyadh, Saudi Arabia", *International Journal of Tropical Medicine*, vol. 5, pp. 20-22, 2010.
- [47] V.K. Srivastava and G.K. Pandey, "Parasitic infestation in sewage farm Workers", *Indian Journal of Parasitology*, vol. 10, pp. 193-194, 1986.
- [48] W. Rudolph, L.L. Falk and R.A. Ragotzkie, "Contamination of vegetable grown in polluted soils: II. Field and laboratory studies on *Entamoeba* cysts", *Sewage and Industrial Wastes*, vol. 23, pp. 478-485, 1951.
- [49] J.L. Stien and J. Schwartzbrod, "Experimental contamination of vegetables with helminth eggs", *Water Science and Technology*, vol. 22, pp. 51-57, 1990.
- [50] WHO, *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater: Wastewater Use in Agriculture*, vol.2, World Health Organization, Geneva, 2006.
- [51] Shuval H.I., *Wastewater irrigation in developing countries; Health effects and technical solutions*, Summary of World Bank Technical paper, Number 51, Washington, 1990.
- [52] P. O'Lorain and C.V. Holland, "The public health importance of *Ascaris Lumbricoides*", *Parasitology*, vol. 121, pp. 51-57, 2000.

- [53] S.W. Stine, I. Song, C.Y. Choi and C.P. Gerba, "Effect of relative humidity on preharvest survival of bacterial and viral pathogens on the surface of cantaloupe, lettuce, and bell peppers", *Journal of Food Protection*, vol. 68, pp. 1352-1358, 2005.
- [54] Warriner K., Pathogens in vegetables, In W.M.F Jongen (Eds), *In improving the safety of fresh fruit and vegetables*, pp. 3-43, CRC Press, Boca Raton, 2005.

## Dynamique des conflits armés en province de l'Ituri de 1999 à 2015

*Jean TSUMBU GBORO*

Enseignant-chercheur en Science politique, Université de Bunia, Province de l'Ituri, RD Congo

---

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** From 1999 to 2015, armed conflicts persist in the Province of Ituri. What justifies this persistence? How to analyze its dynamics? In order to answer these questions, we set out to present the context of the emergence of armed conflicts in Ituri and to analyze its dynamics.

After analysis, we have come to the conclusion that the multiplicity of actors (state and non-state) involved in these conflicts with different issues is not conducive to the effective resolution of these armed conflicts. These conflicts emerged in a fragile state where Laurent Désiré Kabila's regional and international allies had wagered the end of his regime. In its dynamics, these conflicts favored the creation of different local armed groups, first on an ethnic basis, and then on the basis of several interests following the evolution of internal, regional and international socio-political relations. This justifies the play of alliances and counter-alliances between different actors and consequently the persistence of these armed conflicts.

**KEYWORDS:** armed conflicts, internal actors, external actors, persistence.

**RESUME:** De 1999 à 2015, les conflits armés persistent en Province de l'Ituri. Qu'est-ce qui justifie cette persistance ? Comment analyser sa dynamique ? En vue de répondre à ces questions, nous nous sommes fixé pour objectif de présenter le contexte de l'émergence des conflits armés en Ituri et d'analyser sa dynamique.

Après analyse nous avons abouti aux résultats selon lesquels la multiplicité des acteurs (étatiques et non étatiques) impliqués dans ces conflits avec des enjeux divers n'est pas de nature à favoriser la résolution efficace de ces conflits armés. Ces conflits ont émergés dans un contexte d'Etat fragile où les alliés régionaux et internationaux de Laurent Désiré Kabila avaient parié la fin de son régime. Dans sa dynamique, ces conflits ont favorisé la création des différents groupes armés locaux d'abord sur base ethnique, ensuite sur fond de plusieurs intérêts suivant l'évolution des rapports socio-politiques interne, régional et international. Ainsi se justifie les jeux d'alliances et contre-alliances entre différents acteurs et par ricochet la persistance de ces conflits armés.

**MOTS-CLEFS:** conflits armés, acteurs internes, acteurs externes, persistance.

### 1 INTRODUCTION

Dans les régimes où la lutte politique ne peut se dérouler ouvertement, il existe diverses organisations partisans qui interviennent dans le combat politique. Ces organisations sont prohibées au moment où elles se fixent pour objectifs de renverser l'ordre politique établi.

Pour ce faire, les alliances interviennent en vue de consolider leurs actions. A ce titre, Julien FREUND<sup>1</sup> souligne que, pour compenser leur faiblesse ou bien accroître leur puissance, les unités politiques sont amenées à lier l'amitié avec d'autres sur la base soit d'une assistance, soit d'une garantie unilatérale.

---

<sup>1</sup> FREUND, J., *Qu'est-ce que la politique*, Ed. du Seuil, Coll. Points, Paris, 1967, p.45

L'alliance apparaît comme de la protection et de la sécurité pour les uns et les autres. Cela est fonction de la contribution des uns et des autres dans l'amitié ainsi créée.

Certains analystes des conflits armés en Afrique pensent qu'ils relèveraient des oppositions identitaires. Ils s'inscrivent dans le paradigme « identités ethniques » soutenu par les spécialistes en relations internationales pour qui, les conflits armés en Afrique sont des *conflits ethniques* provoqués par des hordes de barbares qui, agrippés aux oripeaux de la féodalité, rejettent la modernité symbolisée par le modèle de l'Etat-nation et la culture occidentale en tant que bienfait de la colonisation<sup>2</sup>.

La théorie réaliste postule pourtant que, l'impossibilité dans laquelle l'humanité est placée de satisfaire ses besoins en ressources naturelles trouve ses origines dans la répartition inégale de celles-ci. Pour ce faire, les Etats qui en sont dépourvus et dont la dynamique démographique est forte, sont obligés pour leur survie (théorie de l'espace vital) de s'en procurer ailleurs. Et ce, non point par les vertus de la loi du marché (multilatéralisme), mais plutôt par celles de l'usage de la force.

Pour MWAYILA TSHIYEMBE, le fait qu'un Etat s'empare par la force des ressources d'un autre Etat, est constitutif d'une **agression**, acte illégal s'il en est, banni par la charte de l'ONU (article 2), suscitant la légitime défense individuelle ou collective de l'Etat victime (article 51, charte de l'ONU).

Avec la fin de la guerre froide, tous les espoirs étaient permis de voir la RDC renouer avec la paix durable. Contre toute attente, elle est devenue depuis 1990 le théâtre des conflits des diverses formes<sup>3</sup>.

En 1996, il s'est créé un mouvement subversif contre le régime de MOBUTU dénommé : « Alliance des Forces Démocratiques pour la Libération du Congo (AFDL/C). Cette alliance a mené sa guerre pendant sept mois soit d'octobre 1996 à mai 1997. Elle fut soutenue par les armées rwandaises et Ougandaises.

En août 1998, la RDC connut une deuxième opposition armée. Cette fois là contre le régime de Laurent KABILA et plus tard celui de Joseph KABILA. Dans sa dynamique, ces conflits armés ont opposé plusieurs groupes qualifiés soit des mouvements politico-militaires, soit des groupes armés, soit des milices armés. Toute l'étendue de la République en fut touchée.

Malgré la signature de Sun City qui a mis fin à la belligérance entre certains de ces mouvements armés et institué un régime politique « sui generis » ayant conduit aux élections de 2006 ; malgré les signatures des différents accords pour la pacification, la stabilisation et la consolidation de la paix, la province de l'Ituri aux frontières de la République de l'Ouganda et du Soudan du Sud est demeurée un théâtre des conflits armés. De 1997 à 2016, les conflits armés y persistent. Qu'est-ce qui justifie cette persistance ? Comment analyser sa dynamique ?

La persistance de ces conflits se justifie par la multiplicité de ses acteurs aussi bien internes qu'externes. Sa dynamique s'analyse à travers les jeux d'alliances et de contre-alliances entre ces différents acteurs variant selon les contextes et l'évolution politique en République Démocratique du Congo.

Cette étude se fixe pour objectif de présenter le contexte de l'émergence des conflits armés en Ituri et d'analyser sa dynamique. Elle est structurée en deux sections. La première section porte sur le contexte de l'émergence des conflits armés en Ituri et la seconde analyse la dynamique de ces conflits armés.

Le recours à la méthode géopolitique nous a été d'un grand apport pour conduire à bien notre réflexion afin d'atteindre l'objectif sus évoqué. En effet, pour Thual<sup>4</sup>, l'analyse géopolitique *repose, in fine*, sur *“sept questions à se poser : qui veut quoi, pourquoi, comment, avec qui, contre qui, où, quand ?* Trois techniques ont soutenu cette méthode : la technique documentaire, l'entretien et l'analyse de contenu.

## 2 CONTEXTE DE L'EMERGENCE DE DIFFERENTS GROUPES ARMES EN PROVINCE DE L'ITURI DE 1999 A 2015

Il faut reconnaître la situation de l'**Etat fragile congolais** qui prévaut depuis deux décennies en Ituri. Des vastes étendues des villages échappent au contrôle du pouvoir central et demeure sous l'emprise des groupes armés locales.

<sup>2</sup> Mwayila Tshiyembe, *Autopsie des conflits armés en Afrique selon l'approche stratégique-polémologique*, disponible sur [www.fcsuan.org](http://www.fcsuan.org), consulté le 31 décembre 2015

<sup>3</sup> Mwayila Tshiyembe, *op.cit*

<sup>4</sup> Chretien J.P., « Géopolitique de l'Afrique, région des Grands Lacs », disponible sur <http://www.diploweb.com-géopolitiquedelafrique,régiondegrands-Lacs>. Consulté, le 15 novembre 2015

De toute l'analyse axée sur les agissements politico-militaires dans l'intervalle que nous avons délimité pour notre étude, il ressort que, de temps à autres, les groupes armés locaux ont joué un grand rôle dans la persistance des conflits armés en Ituri. Ils ont été à la fois acteurs et victimes de leurs entreprises.

A admettre les hypothèses de Ballentine K. et Sherman J., dans la plupart des cas, les guerres civiles sont des conséquences de manque d'interaction entre des facteurs économiques et des facteurs politiques, socio-économiques et sécuritaires. Néanmoins, dans certains cas l'accès aux ressources économiques est d'une importance significative pour la création d'une « structure d'opportunités » permettant aux belligérants de prolonger le conflit et de rester sur le champ de bataille<sup>5</sup>

Dans sa recherche sur la dynamique des conflits armés en Afrique, LUNTUMBWE affirme que la majorité des conflits survenant sur le continent africain sont des conflits intra-étatiques<sup>6</sup>. La compréhension des conditions de leur émergence, dans leurs contextes spécifiques, est un précieux outil pour l'élaboration d'initiatives préventives ou des réponses ajustées lorsqu'une situation est en passe de se dégrader. En effet ces conflits émergent pour une variété de raisons complexes.

Cependant, d'une manière générale, il est admis que l'avènement de situations conflictuelles est en partie lié aux processus de mutations sociales que connaissent toutes les sociétés<sup>7</sup>. Dans son acception la plus large, la notion de conflit-entendue comme l'expression d'intérêts opposés entre au moins deux parties- ne renvoie pas nécessairement à un phénomène négatif au départ. Ce qui est en jeu, c'est surtout la manière dont les sociétés répondent aux conflits émergents.

Des différentes luttes armées qui ont eu lieu en Ituri, celles opposant les Hema et les Lendu du territoire d'Irumu ont connu un développement à plusieurs vitesses en 1911, 1923, 1966, 1971, 1979, 1981, 1992 et 1999. La plus meurtrière et la plus longue est celle qui a embrasé toute la région de l'Ituri depuis 1999. Ceci est dû à sa multi dimensionnalité et au moment de son apparition.

Dans un monde d'interdépendance, une prise de pouvoir quelle qu'elle soit, a toujours été une question d'alliances. Les facteurs structurants tels que le changement de régime politique, notamment le passage d'un système monopartite à un modèle multipartite est un bon exemple de catalyseur de tensions. En 1997, trois ans après le génocide Rwandais, Laurent Désiré Kabila arrive au pouvoir en République Démocratique du Congo après avoir conquis l'ensemble du territoire national en sept mois soit d'octobre 1996 à mai 1997. La grande question à se poser serait celle de savoir comment il y est si rapidement parvenu alors que les forces armées zairoises n'étaient pas encore totalement désarticulées ? La réponse se retrouverait dans ce que Boulada J.P appelle « équation de la raison d'Etat »<sup>8</sup>.

En effet, le conflit armé de 1999 en Ituri a vu son émergence dans un contexte de guerre contre le pouvoir de Laurent Désiré Kabila. Dépeignant les raisons avancées pour l'évincer de son pouvoir, Boulada J.P<sup>9</sup> affirme qu'en l'espace de quelques mois, après l'échec de coup d'Etat contre LD KABILA en juillet 1998, la RDC, unie jusqu'alors sur toute l'étendue du territoire, s'est trouvée divisée en trois zones distinctes: zone sous autorité de LD KABILA basée à Kinshasa, zone sous administration du Rassemblement Congolais pour la Démocratie(RCD) à Goma et zone sous administration du Mouvement pour la libération du Congo(MLC) avec son quartier général à Gbadolite.

Dans la zone sous contrôle du RCD, il s'est vite créé une dissidence qui a donné naissance au Rassemblement Congolais pour la Démocratie/Mouvement de Libération avec Ernest WAMBA DIA WAMBA soutenu par l'Ouganda. Ce fut à Kisangani où, pour sceller la séparation entre les alliés du RCD, les armées Ougandaise et Rwandaise se livrèrent deux combats en mai et juin 1999. En juin 1999, l'Ouganda établit le quartier général du RCD-K/ML à Bunia. Ceci après que la communauté internationale ait décidé de la démilitarisation de la ville de Kisangani. WAMBA DIA WAMBA arrive à Bunia, chef lieu de la province de l'Ituri, alors qu'il y avait déjà un conflit foncier opposant un concessionnaire Hema à la population Lendu à Libi en chefferie de Walendu Pitsi en territoire de Djugu depuis mai 1999.

---

<sup>5</sup> Ballentine K. et Sherman J., cité par Tsumbu Gboro et SIMBA AKOKOLA, « enjeux socio-économiques du conflit interethnique et restauration de l'autorité de l'Etat en Ituri, in Revue de l'IRSA, août 2009, numéro 14

<sup>6</sup> Luntumbwe M., « Groupes armés, conflit et gouvernance en Afrique de l'Ouest : une grille de lecture », Note d'Analyse du GRIP, 27 janvier 2012, Bruxelles, pp. 3-4.

<sup>7</sup> Malinowski B., « Les dynamiques de l'évolution culturelle, 1941 », disponible sur [http://www.uqac.quebec.ca/zone30/Classiques\\_des\\_sciences\\_sociales/index.html](http://www.uqac.quebec.ca/zone30/Classiques_des_sciences_sociales/index.html), consulté le 10 juin 2016

<sup>8</sup> Boulada J.P., « conflits armés en Afrique : classification, causes et alternatives », disponible sur <https://www.survie67.free.fr>, consulté le 21 juin 2016

<sup>9</sup> Idem, pp 15-16

Bien avant juin 1999, le 19 janvier 1999, le Général KAZINI, alors commandant des opérations de l'UPDF avait déjà fait de Madame LOTSOVE MUGISA (un sujet hema du territoire de Djugu), gouverneur de la Province de l'Ituri. Une province de fait répondant à la logique de la territorialisation des espaces sous contrôle rebelle dans un Etat en déliquescence.

Dès lors, le choix de Bunia (chef lieu de la Province de l'Ituri) par le pouvoir politique Ougandais comme quartier général de l'UPDF dut bouleverser le Général KAZINI qui tenait à demeurer seul maître de l'Ituri. L'avènement du RCD-K/ML avec WAMBA DIA WAMBA bouleversa le processus de résolution de conflit foncier entamé depuis le mois de mai 1999 entre ce concessionnaire Hema et la population lendu. Stratégiquement, en vue de l'implantation et de la légitimation de son pouvoir, WAMBA résolut de s'allier à TIBASIMA (Hema du territoire d'Irumu) et DHEWI BATSI (Lendu du territoire de Djugu). Ainsi il réussit à fragiliser voire effacer celui de LOTSOVE et obtint la confiance des panafricanistes proche du pouvoir de MUSEVENI<sup>10</sup>. Ce manque a priori de compromis sur le quartier général de la nouvelle rébellion et ses dirigeants politiques a amplifié le conflit en Ituri passant de simple conflit foncier au conflit armé opposant les milices armées soit par les hommes de WAMBA soit par les hommes de KAZINI.

Si le problème foncier a été avancé comme élément déclencheur des violences armées en Ituri, les autres aspects ci-après ont exacerbé ce conflit :

## 2.1 L'ABSENCE DE L'ETAT

L'Ituri était administré par une rébellion qui était à tout moment miné par des crises internes. Cette tension permanente au sein du RCD d'abord et RCD-ML ensuite entraîna de plus en plus la désintégration administrative de l'Ituri. Cette entité fut subdivisée en plusieurs entités autonomes sous contrôle respectivement du MLC de Jean pierre BEMBA, du RCD-K/ML de MBUSA NYAMWISI, de l'UPC de Thomas LUBANGA, Du FNI de Floribert NDJABU, de la FRPI de Germain KATANGA, du PUSIC de Yves KAHWA et des FAPC de Jérôme KAKWAVU.

## 2.2 LA MANIPULATION DES COMMUNAUTÉS ETHNIQUES PAR L'ÉLITE INTELLECTUELLE, POLITIQUE, ÉCONOMIQUE

A l'absence de l'Etat, les acteurs politiques, individuels et/ou collectifs, se sont organisés en forces d'auto-défense communautaire et en mouvements politico-militaire. Sur fond soit de la lutte pour la protection de leurs communautés, soit de la conquête du pouvoir, soit encore de la reconquête du pouvoir, chacun de ces acteurs ou groupe d'acteurs a organisé sa stratégie des opérations : stratégie de mobilisation des hommes sur base ethnique, stratégie de mobilisation des fonds à titre d'effort de guerre, stratégie de conservation de l'influence politique.

## 2.3 L'IMPLICATION DANS LE CONFLIT DES PAYS VOISINS, COMME L'UGANDA ET LE RWANDA

En effet, dans un contexte de non Etat, certains pays qui partagent les frontières avec l'Ituri, après avoir allumé le feu, trouveront l'occasion d'entrer en RDC pour exploiter ses richesses naturelles et s'adonneront à la formation militaire des différents miliciens à qui ils livrèrent armes et munitions. C'est dans ce contexte que la population et les miliciens seront manipulés et instrumentalisés par des forces extérieures.

La médiatisation des groupes ethniques dans les conflits armés de l'Ituri voile les vrais instigateurs et les véritables mobiles de ces conflits. La raison d'être de toute une constellation d'acteurs politico-militaires et économique dans cette conflictualité armée est très éloquent pour montrer à suffisance que ces conflits ont été pensés et planifiés dans une sphère externe de l'Ituri. A l'instar de Léonard N'sanda Buleli<sup>11</sup>, nous sommes persuadés que la forme et l'intensité qu'avait prises l'ethnicité sur la scène politique locale en Ituri demeurent conditionnées par les stratégies politiques savamment montées par les entrepreneurs dudit conflit armé.

Tout comme LOTSOVE, MBUSA et TIBASIMA obtinrent le soutien de l'Ouganda en nouant des **relations d'affaires** avec le brigadier KAZINI et le général SALIM SALEH, demi-frère influent du Président Ougandais YOWERI MUSEVENI; ils les aidaient ainsi à bénéficier des ressources naturelles du Congo<sup>12</sup>.

<sup>10</sup> Entretien du 25 mars 2016 avec un ancien membre du RCD, puis proche de Wamba dans RCD/ML et devenu plus tard cofondateur de PUSIC

<sup>11</sup> N'Sanda Buleli L., *Ethnicité et « géopolitique » au Maniema(RDC)*, L'Harmattan, Paris, 2005, p.1

<sup>12</sup> Human Right Watch, « Le fléau de l'or: République démocratique du Congo », 2 juin 2005

De ce qui précède, il y a lieu de comprendre, au-delà des raisons liées à la gestion des terres, que les considérations d'ordre économique ont été pour beaucoup dans l'exacerbation de la violence en Ituri. Outre ces relations d'affaires, les affinités sociologiques ont favorisé les rapprochements de différents acteurs nouant ainsi des alliances pour leurs entreprises guerrières. En effet, MBUSA NYAMWISI a du rapproché et tissé des alliances avec certains officiers Ougandais à travers le « *kihanda* », association culturelle Nande qui s'étend de l'Ouganda en RDC. Tandis que TIBASIMA MBOGEMU, lui, s'est rapproché des officiers Ankole à travers son origine historique et linguistique du Royaume de Bunyoro en Ouganda. Ces rapprochements socioculturels et l'aspiration aux ressources naturelles expliqueraient la dynamique des actions belliqueuses en Ituri.

### **3 ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DES CONFLITS ARMES EN ITURI DE 1999 A 2015**

Dans cette section, nous avons pour objectif de repérer les acteurs des conflits armés de l'Ituri et d'analyser leurs dynamiques. Parlant de leurs dynamiques, nous nous intéressons à leurs objectifs, leurs ressources, leurs stratégies, leurs argumentations et les discours justificatifs de leurs actions. Les acteurs ainsi identifiés sont internes et externes, étatiques et non étatiques.

#### **3.1 DYNAMIQUES DES ACTEURS NON ÉTATIQUES**

Parlant des acteurs non étatiques, nous nous référons à tous les groupes armés qui ont participé d'une façon ou d'une autre aux conflits armés en Ituri. Comment ils sont nés ? Quels étaient leurs objectifs ? Comment ils se sont développés ? Il s'agit principalement de : RCD-K/ML, FLC, UPC, FRPI, FNI, COGAI et MRC.

##### **3.1.1 RASSEMBLEMENT CONGOLAIS POUR LA DÉMOCRATIE, AILE KISANGANI/ MOUVEMENT DE LIBÉRATION (RCD-K/ML)**

###### **3.1.1.1 CRÉATION ET OBJECTIF**

Notons que le premier mouvement à transformer Bunia, la capitale de l'Ituri, en bastion politique était l'aile WAMBA du RCD. En effet, après que le collège des membres fondateurs du Rassemblement Congolais pour la Démocratie (RCD) avait décidé de destituer WAMBA DIA WAMBA comme président de ce mouvement rebelle du 02 août 1998, ses parrains les Ougandais avaient résolu de l'établir à Kisangani.

Il se peut que cette résolution fût une stratégie ougandaise pour diminuer l'influence de plus en plus grandissante du Rwanda sur les rebelles Congolais établis à Goma. La proximité de Goma à Kigali donnait beaucoup plus d'avantage à cette dernière capitale qu'à Kampala. A tout moment, semble-t-il, il y avait des injonctions politico-militaires que les dirigeants du RCD recevaient de Kigali qui échappaient à la censure ougandaise<sup>13</sup>.

Cependant, le vrai mobile d'installation du QG de WAMBA-DIA-WAMBA à Kisangani se trouve dans la querelle du leadership à soutenir dans la poursuite de la Guerre contre Laurent Désiré KABILA après l'échec de Kitona et le partage de butin de guerre à la suite de l'exploitation illicite des ressources. Kisangani étant tombé entre les mains du RCD avec l'apport non moins négligeable des troupes Ougandaises, l'Ouganda estimait que le monopole du contrôle de la province Orientale lui reviendrait. L'option était telle qu'il fallait trouver un homme dynamique qui puisse avoir de l'influence au Kasai et à l'Equateur. Certains de nos sources renseignent que pour Kigali, c'était le Docteur Emile ILUNGA non connu dans le milieu Ougandais. Et pour Kampala, c'était WAMBA DIA WAMBA un panafricaniste mieux connu dans le milieu de NARM (National Army Resistance Movement), parti au pouvoir en Ouganda. Par manque de compromis, l'Ouganda décide de retrait de tous ses matériels et armes lourdes de la ville de Goma et de certaines lignes de front ainsi que le déplacement de WAMBA et les fidèles de l'Ouganda à Kisangani.

En conséquence, WAMBA émigra d'abord vers Kisangani et là il créa le 1<sup>er</sup> mars 1999 avec ses parrains la faction rivale du RCD, le RCD-Mouvement de Libération (RCD-ML). Deux mois après, soit au mois de Mai 1999, il a annoncé officiellement les désignations de MBUSA NYAMWISI et John TIBASIMA MBOGEMU comme respectivement administrateurs du Nord-Kivu et de

---

<sup>13</sup> Entretien avec un ancien membre du RCD/ML à Bunia, le 21 mars 2015

la Province Orientale. Officiellement WAMBA DIA WAMBA justifiait son retrait à Kisangani par des raisons sécuritaires. Il se disait se trouver en insécurité à Goma où le Rwanda avait trop d'influence<sup>14</sup>.

### 3.1.1.2 DYNAMIQUE DE DÉVELOPPEMENT DU RCD-K/ML

Le RCD-ML n'a jamais été un mouvement cohérent: tout comme la plupart des rébellions congolaises, il était déchiré par des querelles intestines et un manque de consensus sur ses objectifs. A sa création, ce mouvement dissident avait pour objectif de poursuivre la guerre contre Laurent Désiré KABILA et de conquérir le pouvoir de Kinshasa. Cependant, une fois établi à Kisangani, ce mouvement politico-militaire s'est plutôt plus préoccupé de contrôle du Nord-Est de la République. Une certaine façon de protéger l'aire conquise grâce au concours des forces Ougandaises. Ceci a concerné l'espace territorial allant de Kanyabayonga dans le Nord Kivu au territoire d'Aru dans la province de l'Ituri.

Peu après son arrivée à Bunia, l'autorité de WAMBA fut remise en cause par le commissaire général de son parti, Antipas MBUSA NYAMWISI, et par l'adjoint de ce dernier, John TIBASIMA. Originaire de la province du Bas-Congo, WAMBA était considéré comme un étranger en Ituri; MBUSA, un Nande du Nord-Kivu, et TIBASIMA, un Hema de l'Ituri, n'eurent donc guère de mal à l'évincer. Ces deux communautés représentaient sur le plan économique les deux groupes ethniques les plus influents de cette nouvelle zone d'influence. De cette querelle de leadership naquit le RCD-K/ML en avril 2000.

En plus de l'affaiblissement du mouvement rebelle, cette rivalité politique a eu aussi comme effet d'intensifier le ressentiment ethnique local en Ituri. D'un côté, la plupart des jeunes locaux dans les milices dominées par NYAMWISI et TIBASIMA ont déserté et sont rentrés dans leurs propres communautés en emportant leurs armes. De l'autre côté, les tensions entre les communautés Hema et Lendu étaient attisées par l'incertitude grandissante au sujet du poids politique relatif de chacune d'elles dans les accords entre les différentes factions du RCD-K/ML.

En juillet 2000, des commandants Hema de l'APC lancèrent une mutinerie pour protester contre ce qu'ils percevaient comme la position pro-Lendu de WAMBA, prenant alors le nom de Force mobile Chui (FMC). WAMBA s'empressa d'attribuer cette révolte à TIBASIMA. Étant donné non seulement que la FMC était le précurseur de l'Union des Patriotes Congolais (UPC), mais qu'elle avait aussi amené Thomas LUBANGA sur le devant de la scène. En effet, le commandant BAGONZA fut le premier à se mutiner avec ses troupes, attaquant les postes de l'APC à Nyankunde et à Marabo. D'autres commandants Hema dont TCHALIGONZA NDURU et Floribert KISEMBO rejoignirent BAGONZA dans son maquis, de même que Bosco NTAGANDA, un Tutsi congolais de l'APC. Ils collaborèrent avec Yves KAHWA, chef coutumier de la chefferie de Bahema-Banywagi en territoire de Djugu. C'est à Mandro, chef lieu de cette chefferie que la FMC établit son état major. Ce lieu devint plus tard le principal centre d'entraînement de l'UPC. Bien que son objectif ait été de destituer WAMBA, la FMC n'était dotée ni d'une structure organisationnelle claire, ni d'un leader unique<sup>15</sup>.

Lors de la mutinerie de la FMC, WAMBA DIA WAMBA essaya de suspendre Mbusa et Tibasima, les accusant de trahison. Il s'ensuivit une nouvelle série de négociations entre les trois hommes qui, cette fois-là, fut non seulement facilitée par l'Ouganda, mais aussi par le Mozambique et la Tanzanie. De retour à Bunia, cependant, MBUSA-réputé pour son sens aigu de la politique-sabota rapidement l'accord de Kampala. Il se servit de ce qui restait du bataillon formé au camp de Nyaleke dans le Nord Kivu pour lancer une attaque contre la résidence de WAMBA.

Si la fracture au sein du RCD a été l'effet de la compétition entre le Rwanda et l'Ouganda pour le contrôle de Kisangani et le circuit de l'exploitation du diamant et de bois, la crise au sein du RCD-ML a été le résultat des *tactiques divisionnistes* de l'Ouganda. Après seulement un an de lutte militaire contre le régime de Laurent Désiré KABILA, les hostilités entre les sponsors du RCD a engendré la reconfiguration de la rébellion entre une section contrôlée par le Rwanda et une autre contrôlée par l'Ouganda. On aboutit à un découpage du territoire congolais en quatre régions politico-militaires : celle du gouvernement de Kinshasa, celle du RCD/Goma, celle du MLC et celle du RCD-K/ML. Les crises au sein de cette dernière firent que son parrain, l'Ouganda, décida de mandater Bemba du MLC pour y rétablir la cohésion. C'est l'avènement du FLC.

<sup>14</sup> Entretien avec un ancien du RCD-K/ML à Bunia, le 13 juin 2016

<sup>15</sup> Propos d'un de nos enquêtés interviewé à Bunia, le 20 septembre 2015

### **3.1.2 FRONT DE LIBÉRATION DU CONGO (FLC)**

#### **3.1.2.1 CRÉATION ET OBJECTIF**

Le Front de Libération du Congo est une fusion du RCD-K/ML et le MLC, Mouvement de Libération du Congo de Jean pierre BEMBA. Ce dernier mouvement est aussi l'émanation de l'Ouganda à partir du complexe de la Forestière, une société d'exploitation des bois basée à Kisangani. Il fut concomitamment créé avec le RCD-K/ML en Mai 1999.

Pendant que WAMBA et NYAMWISI continuaient à se disputer le leadership du RCD-K/ML, le 17 janvier 2001, l'Ouganda essaya de reprendre son contrôle sur les événements et de contourner la division interne de ses pions en fusionnant le RCD-K/ML et le Mouvement de Libération du Congo (MLC) de Jean-Pierre Bemba en un nouveau mouvement rebelle, le Front de Libération du Congo (FLC). Wamba refusa d'y adhérer au motif que cette fusion était imposée par l'Ouganda. Il résolut donc de ne pas participer aux actions belligérantes de cette nouvelle coalition. En fait, ce front n'engagea aucun combat contre aucun ennemi identifié.

Cependant, on reconnaît à ce front l'initiative de la pacification de l'Ituri. Laquelle tentative de pacification eut lieu au stade Amani de Bunia entre les communautés Hema et Lendu. Après l'attaque de Bunia par les miliciens Lendu en janvier 2001, l'effort de la pacification de ces communautés s'avéra vain car, les tueries à grande échelle continuèrent à l'intérieur et dans la périphérie de Bunia.

Les deux autres principaux leaders du RCD-K/ML, MBUSA et TIBASIMA, étaient d'accord pour adhérer à ce front. Son quartier général fut établi à Béni. L'Ouganda s'était engagé à appuyer cette nouvelle alliance rebelle dans la lutte contre le gouvernement de Kinshasa.

#### **3.1.2.2 DYNAMIQUE STRUCTURELLE ET FONCTIONNEMENT DU FLC**

Pour ce qui est de son organisation, BEMBA a été désigné, président. Mbusa devint coordinateur exécutif, et TIBASIMA secrétaire général en charge du secteur minier. Autrement dit, les trois hommes se virent confier des fonctions pratiquement identiques à celles qu'ils avaient assumées lorsque le RCD-K/ML avait été transféré à Bunia. LUBANGA, cependant, fut pour ainsi dire « promu » en devenant secrétaire général adjoint en charge de la jeunesse, des sports et des loisirs.

Cependant, vers juin 2001, des affrontements éclatèrent entre les milices de MBUSA et le FLC. Ces affrontements forcèrent les soldats ougandais qui, selon les autorités ougandaises, étaient prêts à se retirer, de se redéployer en vue de « désamorcer le conflit grandissant ». L'Ouganda s'efforça d'apaiser ces tensions en organisant des rencontres entre les différentes factions du FLC à Kampala, en donnant à NYAMWISI et à Bemba le contrôle de certaines régions et en reconnaissant NYAMWISI comme le leader du RCD-K/ML. Le RCD-K/ML devait reprendre le territoire jadis sous contrôle de Wamba s'étendant de Beni-Lubero, Ituri et Haut-Uélé. Le MLC de Bemba rentra à l'Equateur. Une nouvelle ère s'ouvrit en RDC après la mort de Laurent Désiré KABILA.

Au cours de cette période, Mbusa s'était déplacé vers l'Afrique du sud. Il nous paraît que ce retrait fut stratégique car, à la même période les données politiques en RDC vont changer. Avec la mort de Laurent Désiré Kabila, on constate une évolution rapide dans les négociations politiques. Kinshasa a semblé accélérer le processus de pacification avec l'accord de cessez-le-feu de Lusaka, prélude au dialogue de sun city de 2001. Déjà à cette époque, l'UPC était en mal de positionnement dans les négociations. Pendant que les autres négociaient selon le principe « gagnant-gagnant », selon une de nos sources<sup>16</sup>, l'UPC s'était vu écartée de la table de négociation de Kampala. Cependant, ce fut le MLC qui dut négocier le poste attribué à Lubanga. Malgré cela le RCD-K/ML n'avait pas manqué d'ourdir d'autres plans pour anéantir les actions de l'UPC.

Le FLC ne fut qu'un bref interlude dans ce qui devenait un conflit de plus en plus divisé. En juin 2001, des troupes fidèles à Mbusa, qui complotait à distance, lancèrent une attaque contre Bemba à Beni, le forçant à prendre la fuite. Une fois de plus, certains officiers avaient porté maints fortes aux forces de Mbusa. Les affinités culturelles et les intérêts économiques avec la frontière de Kasindi auraient également favorisé cette alliance de fait. Ayant chassé Bemba de Beni, Mbusa voulait désormais le forcer à quitter Bunia. Pour ce faire, il chercha à forger une alliance avec Lubanga. Le rôle de Tibasima dans ces

---

<sup>16</sup> Entretien avec Djokaba à Bunia, le 22 juin 2016

développements fait l'objet d'une controverse; en effet, il quitta rapidement Bunia pour se consacrer aux pourparlers de paix en Afrique du Sud et finit par obtenir le ministère de l'Aménagement urbain au sein du gouvernement de transition<sup>17</sup>.

Les troupes de Bemba se retirèrent de l'Ituri en novembre 2001. À peu près au même moment, Mbusa nomma Lubanga nouveau ministre de la Défense RCD-K/ML. Pour le cofondateur de l'UPC, Lonema, cette nomination signifiait la reconnaissance politique de l'UPC<sup>18</sup>. Ce qui n'était pourtant pas l'intention de Mbusa qui tenait à ce que Lubanga ne se serve de l'étiquette UPC pour constituer un contre-poids politique à ses visées de la possession du monopole de puissance en Ituri et dans le territoire de Beni-Lubero. Lorsqu'il devint évident qu'il voyait Lubanga davantage comme un chef de fil sans pouvoir réel, leurs relations se détériorèrent rapidement. Ayant tiré parti des conflits au sein, d'abord, du RCD-K/ML et, ensuite du FLC, Lubanga était désormais prêt à exploiter les tensions grandissantes entre le RCD-K/ML et le gouvernement ougandais.

Si les querelles entre élites politiques devinrent une importante caractéristique du conflit en Ituri, la violence armée resta un instrument clé pour régler ses comptes et déjouer ses rivaux. Alors que les principaux belligérants entamaient des pourparlers de paix en Afrique du Sud en 2002, et que la rivalité régionale entre le Rwanda et l'Ouganda gagnait en intensité, l'Ituri se retrouva traversée par des courants contraires, avec des conséquences catastrophiques.

### 3.1.3 FORCE DE RÉSISTANCE PATRIOTIQUE DE L'ITURI (FRPI) ET FRONT NATIONALISTE INTÉGRATIONNISTE

Cette section met l'accent sur le front des nationalistes intégrationnistes (FNI) et la force de résistance patriotique en Ituri (FRPI), deux mouvements établis formellement fin 2002 et qui tous deux émanent des milices Lendu. Si le FNI s'est en grande partie transformé en parti politique en 2005, la FRPI continue à ce jour de résister à toute intégration au sein de l'armée nationale.

#### 3.1.3.1 CRÉATION ET OBJECTIFS DU FNI ET DE LA FRPI

C'est en avril 1999 que les violences, à proprement parler, éclatèrent dans le territoire de Djugu, dans la concession de Leyna située entre Linga et Kpandroma, dans le secteur de Walendu Pitsi. Des villageois Lendu accusèrent Singa Kodjo, propriétaire Hema de Leyna, d'avoir étendu sa concession de manière illégale jusque sur des terres voisines appartenant à des Lendu. La façon précise dont les événements s'enchaînèrent ensuite reste contestée, mais il semblerait que Kodjo ait demandé aux forces militaires de l'UPDF de protéger sa concession contre l'envahissement des populations locales, à majorité Lendu.

L'émergence et la trajectoire des milices Lendu dans la campagne de Djugu et Irumu doivent être envisagées dans le contexte de l'absence de l'autorité de l'Etat évoqué ci-haut. Les leaders de ces groupes qualifient leurs actions de résistance populaire contre toute forme d'agression soit-elle étrangère ou interne.

Pour les représentants Lendu de tout le territoire de Djugu, les milices Lendu constituaient à leurs débuts un mouvement d'«autodéfense populaire». Comme l'a déclaré un leader local, il y avait « une forte résistance, mais pas d'organisation solide ». Dans leur mode opératoire, ils recourraient volontiers à des pratiques traditionnelles (*tambours de guerre*) pour organiser des attaques des villages. Quiconque démontrait sa force sur le champ de bataille était automatiquement reconnu « commandant », tandis que les autres étaient de simples « combattants ». Au sein de la quasi-totalité de ces groupes à Djugu et Irumu, on conte l'histoire de ces combattants qui, motivés par un « esprit de revanche », se munirent d'abord d'armes rudimentaires telles que machettes ou lances, avant de disposer d'armes à feu qu'ils avaient prises sur les dépouilles de soldats ougandais ou de combattants Hema<sup>19</sup>.

On sait néanmoins que la querelle de leadership au sein du RCD-K/ML a favorisé les jeux d'alliances entre différents groupes armés actifs en Ituri pendant la période sous examen. Dans leurs luttes pour le pouvoir d'Etat et la conservation de leurs influences politiques sur les autres, chaque leader politique a fait recours au potentiel humain de sa communauté constituant ainsi une force armée contre les ennemis identifiés au départ dans les communautés historiquement rivales. Tels furent les cas du FNI et de la FRPI composés des combattants Lendu montés contre les Hema, leurs voisins.

<sup>17</sup>Entretien mené auprès de Lokpari, un ancien membre du bureau politique de l'UPC Bunia, 22 octobre 2015

<sup>18</sup> Entretien mené auprès de Lonema Richard, un ancien membre du bureau politique de l'UPC Bunia, 26 octobre 2015

<sup>19</sup> Entretiens menés dans le cadre de Projet Usalama avec Akobi C., 14 août 2012 ; Ngabu Wele, 23 août 2012 ; Bahati Ngabu E., 31 août 2012 ; et Augustin Lobo Nyinga, 16 décembre 2012 (tous à Bunia).

### 3.1.3.2 DÉVELOPPEMENT DE LA FRPI DANS LE TERRITOIRE D'IRUMU

Il est difficile de définir précisément la zone qui était placée sous le contrôle des milices Lendu. Outre Kpandroma et Rethy, qui restèrent entre les mains des Lendu pendant tout le conflit, la plupart des récits de Lendu de Djugu soulignent la nécessité de fuir sans cesse d'un lieu à un autre. On sait cependant que la région de Mongwalu était protégée par les APC qui y exploitaient de l'or avec le RCD-K/ML. Dans cette région, Mbusa aurait fait cantonner la plupart des miliciens recrutés dans le milieu Lendu. Grâce à l'aérodrome s'y trouvant, il leur fournissait des armes et munitions. De là ainsi que d'autres localités telles Lipri et Nyangarayi, certains Lendu se rendaient à Mbau pour passer à l'initiation guerrière.

Mbau ne servait pas seulement de centre d'entraînement militaire, mais aussi de sanctuaire de purification et d'invincibilité<sup>20</sup>. Le recours à des rites magico-mythologiques n'est pas nouveau dans les pratiques ancestrales Lendu comme Hema. Dans certaines circonstances, la consultation des dieux est perçue comme une obligation des humains à communiquer avec les morts. C'est ainsi par exemple que les Lendu érigent de petites cases sur les tombes de certaines notabilités avec espoir de souvent communiquer avec elles. « *Les morts ne sont pas morts, elles sont sources de vie* ».

L'accord de Sun City fut signé le 19 avril 2002, en Afrique du Sud. Mbusa y avait pris part pour le compte du RCD-K/ML, ouvrant ainsi la voie à un gouvernement congolais de transition. Dans un contexte marqué par la hausse des pressions internationales et des relations hostiles avec le Rwanda, Kampala effectua des manœuvres consistant à rétablir les relations avec Kinshasa tout en assurant un contrôle continu des zones du nord-est occupées par l'Ouganda. Symbolisant cette politique de la corde raide, le gouvernement ougandais décida d'abord de faire arrêter Lubanga et de le transférer à Kinshasa lorsqu'il se rendit à Kampala pour y mener des négociations en juin ; le gouvernement ougandais se rangea ensuite du côté des mutins fidèles à Lubanga et contribua à chasser le gouverneur Lomondo de Bunia au mois d'août.

C'est dans cette dynamique du développement politique en RDC que ces groupes armés ont tissés des alliances en vue de la continuité des luttes armées en Ituri. En effet, après que les troupes du RCD-K/ML aient été attaquées par les mutins pro LUBANGA, certains leaders Lendu dont Mathieu Ngudjolo, ainsi que le Dr Baudouin Adirodu et Floribert Ndjabu, avaient battu retraite vers Béni, jadis quartier général du RCD-K/ML<sup>21</sup>. De là, ils montèrent avec Mbusa et le gouvernement congolais des stratégies de la reconquête de l'Ituri<sup>22</sup>. Vu la polarisation des combats dans le district, ils considérèrent les milices Lendu comme des alliés naturels dans leur démarche visant à vaincre l'UPC dominée par les Hema.

Grâce au soutien considérable que leur accordèrent les gouvernements congolais et ougandais pendant la première moitié de 2003, le FNI et la FRPI remportèrent toute une série de victoires militaires contre l'UPC. Cependant, au mois de juin, les combats s'étaient tellement intensifiés qu'une force d'intervention multinationale dut être envoyée à Bunia. L'Ouganda s'étant retiré de l'Ituri au mois de mai et le nouveau gouvernement de transition à Kinshasa étant favorable à l'intervention, les milices Lendu se retrouvèrent de nouveau en grande partie livrées à elles-mêmes.

Le FNI et la FRPI ont maintenu leur influence dans les territoires de Djugu et d'Irumu. A djugu, le FNI a contrôlé d'une façon permanente tous les milieux Lendu ouvrant le corridor vers la partie nord du lac Albert. Il a aussi, avec l'appui du RCD-K/ML conquis et contrôlé la région minière, principalement la cité minière de Mongwalu. Outre ses activités guerrières dans ces deux territoires, sa présence était aussi signalée à Mahagi dans la chefferie de Pandoro à Nyoka, à Amé en chefferie de Djukoth et à Mahagi centre dans la chefferie de Warpalara.

La FRPI a étendu son influence de la chefferie de Walendu Bindi jusqu'aux territoires voisins des Hema sud à Bogoro, des Bira dans la chefferie des Andisoma à Nyankunde et en co-actions avec le RCD-K/ML et FNI à Bunia.

---

<sup>20</sup> Entretien mené avec Lobo Nyinga A., Bunia, 16 décembre 2012.

<sup>21</sup> CPI, « Situation en République démocratique du Congo, Affaire Le Procureur c. Mathieu Ngudjolo : Jugement rendu en application de l'article 74 du Statut », 18 décembre 2012, paragr. 411, disponible sur <http://www.icc-cpi.int>, consulté le 26 décembre 2015

<sup>22</sup> CPI, déposition de Ndjabu, 30 mars 2011, p. 45, disponible sur <http://www.icc-cpi.int>, consulté le 26 décembre 2015

### 3.1.4 UNION DES PATRIOTES CONGOLAIS (UPC)

#### 3.1.4.1 CRÉATION ET ÉMERGENCE DE L'UPC

##### A. CONTEXTE DE LA CREATION DE L'UPC

Face à l'imbroglio né de la querelle de leadership au sein du RCD-K/ML et la montée des violences en Ituri, Lubanga résolut de transformer l'UPC de mouvement politique en mouvement politico-militaire.

Pour l'UPC, face à la visée expansionniste Nande matérialisée par l'ascension et l'influence politique de Mbusa dans le RCD-K/ML, il fallait s'organiser politiquement en vue de faire le contrepoids à ce leader du Nord Kivu, province voisine à celle de l'Ituri. C'est ainsi qu'ils résolurent de créer ce cadre d'expression politico-militaire dénommée « Union des Patriotes Congolais ». L'objectif étant de libérer le peuple de l'Ituri du joug des envahisseurs internes et externes et de conquérir le pouvoir politique.

Le 17 avril 2002, dans un meeting populaire, Lubanga accusait Mbusa d'avoir vendu l'Ituri au gouvernement congolais, préparé une emprise de pouvoir Nande à Bunia et pris parti pour les Lendu dans le conflit interethnique. Peu de temps après, des troupes fidèles à Lubanga organisèrent une autre mutinerie au sein de l'APC. Elles réussirent à diviser Bunia en deux, une zone étant contrôlée par Lubanga, et l'autre, par Mbusa<sup>23</sup>. Bunia resta dans cette impasse d'avril jusqu'en août 2002. L'instrumentalisation des sentiments ethnistes, les massacres ciblés et l'absence de l'autorité de l'Etat devinrent une excuse pour justifier l'action de l'UPC contre le RCD-K/ML.

##### B. EMERGENCE ET ACTIONS DE L'UPC

La deuxième mutinerie au sein de l'APC marqua le retour sur le devant de la scène des commandants qui avaient été à l'origine de la précédente mutinerie de la FMC. Après avoir suivi un entraînement à Kyankwanzi (nouvelles recrues) et Jinja (officiers), la plupart d'entre eux avaient été envoyés dans la province de l'Équateur pour rejoindre la branche armée du MLC. Après plusieurs mois passés à se battre pour Bemba, les militaires se sentirent de plus en plus frustrés. Ils savaient que leurs frères Hema continuaient de mourir dans les affrontements interethniques en Ituri et avaient le sentiment que le MLC se servait d'eux « comme des chiens »<sup>24</sup>. Après l'éclatement du FLC dans le nord-est du Congo, ces militaires placés sous le commandement de Floribert Kisembo se rebellèrent dans la province de l'Équateur, exigeant d'être renvoyés en Ituri. Bemba céda et les laissa rentrer à Bunia, où ils se rangèrent du côté de Lubanga.

Dans cet intervalle de temps, le gouvernement de Kinshasa se mit à toiser l'Ituri. En avril et mai 2001, Mbusa s'était rendu deux fois à Luanda, la capitale de l'Angola, d'abord pour s'entretenir avec les Angolais, qui se rangeaient du côté du gouvernement congolais, puis pour rencontrer Joseph Kabila, devenu Président de la RDC en janvier 2001 après l'assassinat de Mzee Laurent Désiré Kabila. Lorsque les troupes de Mbusa attaquèrent Bemba à Beni en juin 2001, il avait donc déjà commencé à changer de camp, espérant devenir « l'homme de Kinshasa dans le Nord-Est » au fur et à mesure que le processus de paix s'accélérait.

La déclaration de Lubanga du 17 avril 2002 eut lieu deux jours avant que Mbusa n'avalise l'Accord de Sun City, qui préparait le terrain à l'instauration d'un gouvernement de transition. En outre, à la mi-2002, le Président Museveni avait entamé des pourparlers avec le gouvernement congolais, en grande partie du fait de l'hostilité grandissante entre l'Ouganda et le Rwanda. Dans ce contexte, Mbusa a joué un rôle utile de facilitateur entre les gouvernements ougandais et congolais.

En juin 2002, l'Ouganda invita Lubanga à Kampala pour débattre de l'impasse dans laquelle se trouvait Bunia. Peut-être dans l'espoir de démontrer leur bonne disposition à l'égard du gouvernement congolais, les Ougandais, à la grande surprise de tous, placèrent alors Lubanga en détention avec plusieurs membres de sa délégation avant de les envoyer à Kinshasa par avion<sup>25</sup>. Cette arrestation aggrava la crise en Ituri. Se méfiant des intentions de l'Ouganda, le chef Kahwa et le conseiller en charge de la sécurité de Lubanga, Richard Beiza menèrent des négociations avec le Rwanda et obtinrent son appui militaire.

<sup>23</sup> CPI, « Affaire le Procureur c/ Thomas Lubanga », paragr. 1089;

<sup>24</sup> Entretien mené auprès de Lonjo, un démobilisé de l'UPC ayant combattu en Centre Afrique aux côtés des troupes de Bemba, Bunia le 28 octobre 2015

<sup>25</sup> Entretien avec Djokaba, un ancien proche collaborateur de Lubanga, Bunia, le 14 janvier 2016

Un des rapports du conseil de la Sécurité des Nations Unies en fait cas <sup>26</sup>: « le Rwanda approvisionne les mutins au moyen de parachutages sur leur centre d'entraînement à Mandro ».

Cette nouvelle alliance a entraîné une nouvelle donne politique compliquant le processus de la pacification de l'Ituri et intensifiant les luttes armées. Par ricochet, la thèse selon laquelle « la présence des ressources naturelles et des identités ethniques sur le territoire d'un Etat est belligène » peut être confirmée. En effet, le Rwanda avait tout intérêt de s'allier à l'UPC pour des évidentes raisons que dans leurs querelles de leadership régional, il lui fallait diminuer l'influence ougandaise dans la région et avoir accès aux mines d'or et autres ressources naturelles tel le pétrole.

Après avoir pris le contrôle de Bunia en août, l'UPC commença également à planifier l'attaque de Mongbwalu, une cité minière du territoire de Djugu connue pour ses mines d'or qui était encore détenue par l'APC<sup>27</sup> et des milices Lendu. C'est la bataille pour Mongbwalu qui convainquit le commandant de l'APC Jérôme Kakwavu d'allier ses forces à celles de l'UPC, marquant ainsi un tournant pour le groupe. Parallèlement, Kakwavu avait été chargé de la région aurifère de Durba dans le Haut-Uélé, mais il avait été contraint de se retirer dans le territoire d'Aru en raison des attaques lancées par le MLC et le RCD-N. après une bataille qui dura six jours, du 18 au 24 novembre 2002, Mongbwalu finit par tomber entre les mains de l'UPC.

Cependant, dans l'évolution de son action de résistance et de conquête des territoires, l'UPC a connu des fractures internes, s'est confronté aux forces diverses et aussi s'est alliées à d'autres. De l'UPC naquirent le PUSIC (parti pour l'unité, la sauvegarde et l'intégrité du Congo) et l'UPC/KISEMBO. Elle s'est opposée au FIPI (Front pour l'Intégration et la Paix en Ituri) et, dans la dynamique de pacification de l'Ituri et le processus de Démobilisation, Désarmement et intégration des groupes armés de l'Ituri au sein des forces armées de la RDC, s'est alliée au Mouvement Révolutionnaire Congolais(MRC) et à la Coalition des Groupes Armés de l'Ituri (COGAI).

Si les querelles entre élites politiques devinrent une importante caractéristique du conflit en Ituri, la violence armée resta un instrument clé pour régler ses comptes et déjouer ses rivaux. Alors que les principaux belligérants entamaient des pourparlers de paix en Afrique du Sud en 2002, et que la rivalité régionale entre le Rwanda et l'Ouganda gagnait en intensité, l'Ituri se retrouva traversée par des courants contraires, avec des violations massives des droits de l'homme dont les actes de crimes de guerre et crimes contre l'humanité.

## **3.2 DYNAMIQUES DES ACTEURS ÉTATIQUES**

### **3.2.1 GOUVERNEMENT DE KINSHASA**

C'est à partir de 1998 que la RDC a fait objet d'agression de la part du Rwanda et de l'Ouganda. Cet acte d'atteinte à la souveraineté étatique devait appeler le pouvoir en place à prendre des dispositions d'Etat en vue de recouvrer son autorité sur l'ensemble du territoire national.

L'intervention militaire du gouvernement de Kinshasa est à inscrire dans son objectif de la recherche de la sauvegarde de l'intégrité territoriale, la reconquête des espaces sous occupation rebelles, bref la recherche de l'affirmation de sa souveraineté.

Cependant, outre le recours à la force, à la déstabilisation des groupes armés par des dissensions internes, le gouvernement a eu à recourir aussi à la stratégie de l'instrumentalisation des vellétés ethnicistes. Il a tissé des alliances et contre-alliances avec différents groupes armés de l'Ituri selon que les circonstances les exigeaient pourvu qu'il atteigne ses objectifs.

Pendant l'agression, bien que le gouvernement de Kinshasa ait joué un rôle tout à fait mineur en Ituri jusqu'en avril 2002, il s'est efforcé d'obtenir plus d'influence dans la région après la signature de l'accord de Sun City. Ce changement d'attitude pourrait s'expliquer par la volonté de reprendre le contrôle des ressources naturelles dans la zone occupée par ses alliés militaires, le RCD-K/ML et la FRPI. Ces ressources naturelles concerneraient entre autre le pétrole du graben Albertine. C'est justement dans cette zone qu'opère encore la FRPI.

Face au pouvoir grandissant de l'UPC, souligne le rapport de Human Right Watch, Kinshasa avait renforcé la FRPI par l'entremise du RCD/KML (APC). Ce dernier a équipé, formé et ravitaillé cette milice dans les camps de Nyaleke à Beni et à

---

<sup>26</sup> Conseil de sécurité de l'ONU, « Rapport spécial sur les événements de l'Ituri », paragr. 29;

<sup>27</sup> APC est la branche armée du RCD-K/ML. Après de sa défection du RCD-K/ML, Jérôme KAKWAVU a eu à créer les FAPC, Forces Armées du peuple Congolais

Aveba, pour faire face aux alliances UPC-RCD/Goma-Kigali. Kinshasa fournissait à l'APC des armes et de l'expertise militaire pour mettre fin à la guerre de l'Ituri<sup>28</sup>.

### 3.2.2 OUGANDA (UPDF) ET RWANDA

A travers son armée, les UPDF, l'Ouganda a créé et soutenu militairement et politiquement tous les groupes armés locaux de l'Ituri. Sa finalité a été très stratégique et économique. En effet son objectif était :

1. d'éloigner loin de ses frontières les ADF/NALU et les éléments de la LRA ;
2. de confirmer son leadership dans la région de grands lacs ;
3. d'étendre sa zone d'influence ;
4. d'exploiter les ressources économiques et stratégiques.

Pour se faire il lui a fallu recourir aux luttes armées. Cependant pour éviter la thèse d'agression, Kampala dut adopter la stratégie de la création de plusieurs groupes armés. En exploitant leurs différends ethniques, il a su maintenir son influence dans la région opposant les uns aux autres.

L'Ouganda avait décidé, en janvier 2003, d'appuyer la création de la FIPI, une plate-forme initialement politique qui regroupait des factions politiques de toutes les communautés ethniques en Ituri, notamment le FNI un parti Lendu présidé par Floribert Njabu, le PUSIC, le parti du chef Kahwa Mandro, le FPDC un parti dominé par des Alur et des Lugbara et dirigé par Unencan.

L'implication rwandaise dans les conflits armés de l'Ituri est manifeste à travers l'appui en logistique et formation des officiers de l'UPC et du PUSIC. D'après un rapport du conseil de sécurité de l'ONU, Lubanga aida le gouvernement rwandais à fournir des armes à la PRA (People's Redemption Army, un mouvement anti-Museveni, dirigée notamment par l'ancien commandant du secteur, Kyakabale, de l'UPDF), qui était basée dans la zone de Kpandroma, contrôlée par les Lendu<sup>29</sup>. Il est tout aussi vrai que, plus d'une centaine de combattants de l'UPC furent formés au Rwanda entre septembre et décembre 2002, notamment à la manipulation des armes lourdes que le Rwanda avait fournies à l'UPC. Le 6 janvier 2003, l'UPC rendit cette alliance officielle en signant un accord formel avec le RCD-Goma, soutenu par le Rwanda, qui, contrairement à l'UPC, participait aux pourparlers de paix nationaux. Les nouveaux partenaires « insistèrent sur l'urgence et la nécessité d'intégrer » l'UPC dans l'Accord global et inclusif de 2002.<sup>30</sup> Cet accord démontra que « Kampala, après avoir passé des années à manipuler la situation ethnopolitique en Ituri, avait enfin perdu le contrôle de ses alliés ».

La figure ci-dessous résume la dynamique des conflits armés en province de l'Ituri tel que ci-haut décrite :

<sup>28</sup> Curvelier J. et Marysse S., « les enjeux économiques du conflit en Ituri », in rapport de Human Right Watch, annuaire 2003-2004

<sup>29</sup> Conseil de sécurité de l'ONU, « Rapport spécial sur les événements d'Ituri », janvier 2002-décembre 2003, 16 juillet 2004, paragr. 29

<sup>30</sup> BBC Summary of World Broadcasts, « DR Congo: Goma, Bunia rebels sign alliance agreement » (citant la RNA, l'agence de presse rwandaise, à Kigali), 7 janvier 2003.

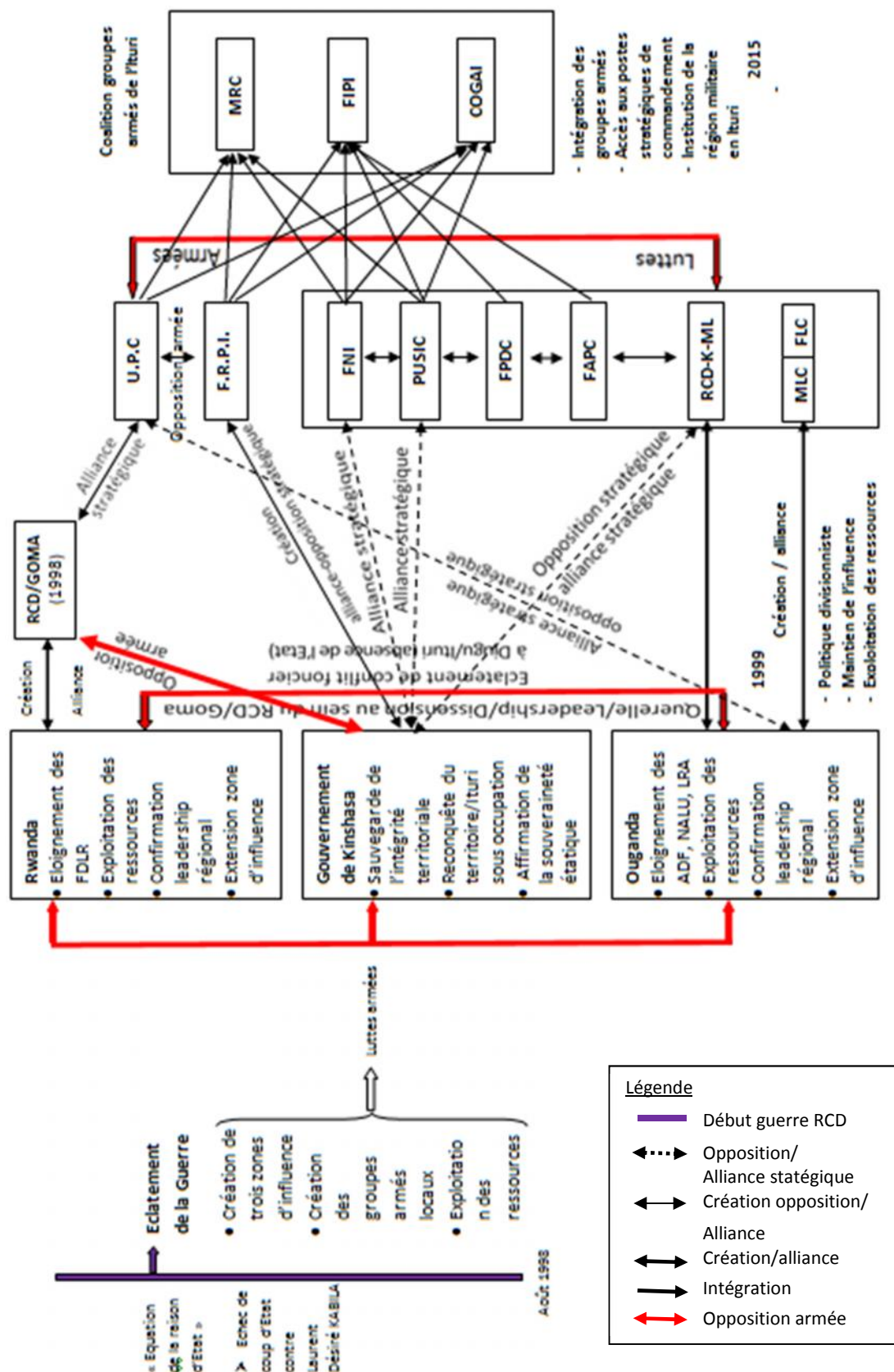


Figure 1 : Dynamique des conflits armés en Ituri de 1999 à 2015

Source : nous même

## 4 CONCLUSION

Tout est parti des oppositions armées entre le gouvernement de Laurent Désiré Kabila, le gouvernement ougandais et rwandais. Ces deux derniers gouvernements ont créé des mouvements rebelles pour évincer L.K Kabila du pouvoir et exploiter les ressources économiques. L'Ituri s'est vu ainsi pris en étau entre trois rebellions : le RCD/Goma, le RCD-K/ML et le MLC. En juin 1999, un conflit éclate à Djugu entre un concessionnaire Hema et les agriculteurs Lendu. L'absence de l'autorité de l'Etat contribue négativement à l'amplification de ces conflits. Entre temps il y a vaste campagne de résistance contre ce que le gouvernement de Kinshasa a appelé « invasion tutsi-hima ».

Les différentes flèches indiquent les différents types d'interactions entre ces différents acteurs. Dans leurs actions belliqueuses, ces acteurs étatiques ont créé des groupes armés. Au total, six groupes et quatre regroupements armés (FLC, FIPI, MRC, COGAI) ont vu jour et se sont développés. De tous ces groupes armés de l'Ituri, l'UPC et le FNI se réclament originels. Le FRPI est l'émanation du gouvernement de Kinshasa avec Dr Adirodu. Les trois autres (PUSIC, FAPC et FPDC) ne sont que des créations stratégiques ougandaises en vue de la fragilisation de l'UPC. Ces acteurs ont entretenu entre eux des alliances et des oppositions stratégiques pourvues de se maintenir et atteindre leurs différents objectifs.

Dans cette dynamique, les conflits armés entre les groupes armés de l'Ituri se sont transformés au conflit armé contre les FARDC et la MONUSCO avec de nouveaux enjeux : intégration des groupes armés, accès aux postes stratégiques de commandement et institution d'une région militaire en District de l'Ituri.

Il a été question dans cet article d'analyser la dynamique des conflits armés en Ituri de 1999 à 2015. Notre objectif était de présenter le contexte de l'émergence de ces conflits armés et d'analyser sa dynamique. Pour y arriver, nous nous sommes servis de la méthode géopolitique, des techniques documentaires et d'entretien pour collecter les données et celle d'analyse de contenu pour l'interprétation des résultats.

Ainsi nous avons abouti aux résultats suivants :

1. Par son essence, tout conflit armé implique l'opposition des groupes sur des terrains plus ou moins mieux connus d'eux et sur lesquels ils ont des raisons d'opérer pour se maintenir. Nous avons identifiés plusieurs acteurs des conflits armés ayant opéré et qui opèrent en Ituri. Parmi eux les acteurs non étatiques et les acteurs étatiques. Parmi les acteurs non étatiques, nous citons : UPC, FNI, FRPI, PUSIC, FPDC, FAPC, RCD-K/ML, MLC.
2. Le conflit dont question sous étude a fait son émergence dans un contexte d'Etat fragile où les alliés régionaux et internationaux de Laurent Désiré Kabila avaient parié la fin de son régime. Après le coup d'Etat manqué en juillet 1998, la déclaration de la rébellion du RCD/Goma en août 1998, la dissension du RCD en 1999, le conflit a surgi et s'est développé en Ituri de juin 1999 à ce jour.
3. Dans la dynamique de ces conflits, les différents groupes armés locaux ont eu à tisser et retisser des alliances parfois contre nature pourvu qu'ils se maintiennent assurant ainsi leur pérennité tel la FRPI.
4. Il a été montré que le gouvernement de Kinshasa comme celui de l'Ouganda ont produit, détruit, reproduit, construit, déconstruit et reconstruit des rebellions-résistances armées afin d'atteindre chacun son objectif. Pour la RDC, il fallait à tout prix recouvrer la souveraineté de l'Etat en recourant aux moyens régaliens dont les armes et la diplomatie ; l'Ouganda quant à elle, en construisant et en reconstruisant les rebellions avait pour objectif de maintenir son contrôle sur les ressources stratégiques et économiques de l'Ituri.

Analyser les dynamiques des conflits armés en Ituri ne suffit pas pour mieux comprendre sa persistance. Les vraies raisons sont parfois cachées au fond de l'abîme. Dans la prochaine apparition, nous tacherons creuser à fond les enjeux de ces conflits.

## REFERENCES

- [1] Curvelier J. et Marysse S., « les enjeux économiques du conflit en Ituri », *in rapport de Human Right Watch*, annuaire 2003-2004
- [2] Luntumbwe M., « Groupes armés, conflit et gouvernance en Afrique de l'Ouest : une grille de lecture », *Note d'Analyse du GRIP*, Bruxelles, 27 janvier 2012
- [3] Tsumbu Gboro et SIMBA AKOKOLA, « enjeux socio-économiques du conflit interethnique et restauration de l'autorité de l'Etat en Ituri », *in Revue de l'IRSA*, n°14, août 2009
- [4] FREUND, J., Qu'est-ce que la politique?, Ed. du Seuil, Coll. Points, Paris, 1967
- [5] N'Sanda Buleli L., *Ethnicité et « géopolitique » au Maniema(RDC)*, L'Harmattan, Paris, 2005
- [6] *BBC Summary of World Broadcasts*, « DR Congo: Goma, Bunia rebels sign alliance agreement » (citant la RNA, l'agence de presse rwandaise, à Kigali), 7 janvier 2003.

- [7] Conseil de sécurité de l'ONU, « *Rapport spécial sur les événements d'Ituri* », janvier 2002-décembre 2003, 16 juillet 2004, paragr. 29
- [8] Human Right Watch, « Le fléau de l'or: République démocratique du Congo », 2 juin 2005
- [9] Mwayila Tshiyembe, Autopsie des conflits armés en Afrique selon l'approche stratégique-polémologique, disponible sur [www.fcsuan.org](http://www.fcsuan.org), consulté le 31 décembre 2015
- [10] Chretin J.P., « Géopolitique de l'Afrique, région des Grands Lacs », disponible sur <http://www.diploweb.com-géopolitiquedelafrique,régiondegrands-Lacs>. Consulté, le 15 novembre 2015
- [11] Malinowski B., « Les dynamiques de l'évolution culturelle, 1941 », disponible sur : [http://www.uqac.quebec.ca/zone30/Classiques des sciences sociales/index.html](http://www.uqac.quebec.ca/zone30/Classiques%20des%20sciences%20sociales/index.html), consulté le 10 juin 2016
- [12] Boulada J.P., « conflits armés en Afrique : classification, causes et alternatives », disponible sur <https://www.survie67.free.fr>, consulté le 21 juin 2016
- [13] CPI, « Situation en République démocratique du Congo, Affaire Le Procureur c. Mathieu Ngudjolo : Jugement rendu en application de l'article 74 du Statut », 18 décembre 2012, paragr. 411, disponible sur <http://www.icc-cpi.int>, consulté le 26 décembre 2015
- [14] CPI, déposition de Ndjabu, 30 mars 2011, disponible sur <http://www.icc-cpi.int>, consulté le 26 décembre 2015.

## **Inventaire et caractéristiques faunistiques des macroinvertébrés de la rivière Alibori dans le bassin cotonnier du Bénin**

### **[ Inventory and faunistic characteristics of the macroinvertebrates of the Alibori River in the cotton basin of Benin ]**

**Thierry M. AGBLONON HOUELOME<sup>1</sup>, Delphine ADANDEDJAN<sup>1</sup>, Antoine CHIKOU<sup>1</sup>, Ibrahim IMOROU TOKO<sup>2</sup>, Cosme KOUDENOUKPO<sup>1</sup>, Clément BONOU<sup>3</sup>, Issaka YOUSSEAO<sup>4</sup>, and Philippe LALEYE<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Aquaculture, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP : 526 Cotonou, Bénin

<sup>2</sup>Unité de Recherche en Aquaculture et Ecotoxicologie Aquatique (URAEaq), Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, 03 BP : 61 Parakou, Bénin

<sup>3</sup>Laboratoire du Génie de l'Environnement, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calvi, Université d'Abomey-Calvi, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin

<sup>4</sup>Département de Production et Santé Animales, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calvi, Université d'Abomey-Calvi, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin

---

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The inventory of macroinvertebrates was studied from samples carried out at 15 stations distributed over the longitudinal profile of the river. Sampling was conducted monthly between June 2015 and May 2016. The macrofauna surveyed consisted of 39,718 macroinvertebrates individuals belonging to 91 taxa (genera and species), 42 families, 13 orders and 7 classes. The community is largely dominated by Insects which have contained 82.41% of the total richness of the macrofauna collected. The molluscs were composed of 12.08% of the total richness. Annelids and crustaceans were the poorest groups in the population. The Coleoptera represented the most abundant order in individuals number and the Thiaridae constituted the most abundant family. The study showed a seasonal variation in the abundance of taxa where stations were most abundant in individuals number during the rainy season with high density.

**KEYWORDS:** Macroinvertebrates, inventory, Abundance, Density, Alibori River.

**RESUME:** L'inventaire des macroinvertébrés a été étudié à partir des prélèvements réalisés au niveau de 15 stations réparties sur le profil longitudinal de la rivière. Les échantillonnages ont été effectués par mois entre juin 2015 et mai 2016. La faune recensée a été composée de 39 718 individus de macroinvertébrés appartenant à 91 taxons (genres et espèces), 41 familles, 13 ordres et 7 classes. Le peuplement est largement dominé par les Insectes qui ont renfermé 82,41% de la richesse totale de la macrofaune récoltée. Les mollusques ont été composés de 12,08% de la richesse totale. Les Annélides et les crustacés ont été les groupes les plus pauvres du peuplement. Les Coléoptères ont représenté l'ordre le plus abondant en individus et les Thiaridae ont constitué la famille la plus abondante. L'étude a montré une variation saisonnière de l'abondance des taxons où les stations ont été plus abondantes en nombre d'individus pendant la saison des pluies avec une densité élevée.

**MOTS-CLEFS:** Macroinvertébrés, inventaire, Abondance, Densité, Rivière Alibori.

## **1 INTRODUCTION**

Les macroinvertébrés benthiques sont reconnus comme un outil biologique de choix pour mettre en évidence les perturbations qui affectent les écosystèmes aquatiques [1]. Ces organismes constituent de bons indicateurs locaux des conditions écologiques des écosystèmes aquatiques soumis aux pressions agricoles où s'accumulent fréquemment les effets d'un enrichissement organique ou d'une perturbation plus importante du milieu [2]. Les études faunistiques et écologiques revêtent donc d'une importance primordiale dans le fonctionnement, la gestion des systèmes naturels et l'évaluation de l'état de santé écologique des hydrosystèmes ([3] ; [4] ; [5]).

La gestion durable de la rivière Alibori située dans le bassin cotonnier du Bénin et soumise à une intense pression d'origine agricole, impose la surveillance de son état d'intégrité avec les macroinvertébrés comme outils performants de bioindication. Ces organismes diversement répandus au niveau des différentes strates de l'eau se caractérisent par leur polluo-sensibilité différentielle, traduisent l'altération des systèmes aquatiques et pourront particulièrement refléter l'état écologique de la rivière Alibori avec leur prompt réaction aux changements survenant dans leur environnement ([6] ; [7]).

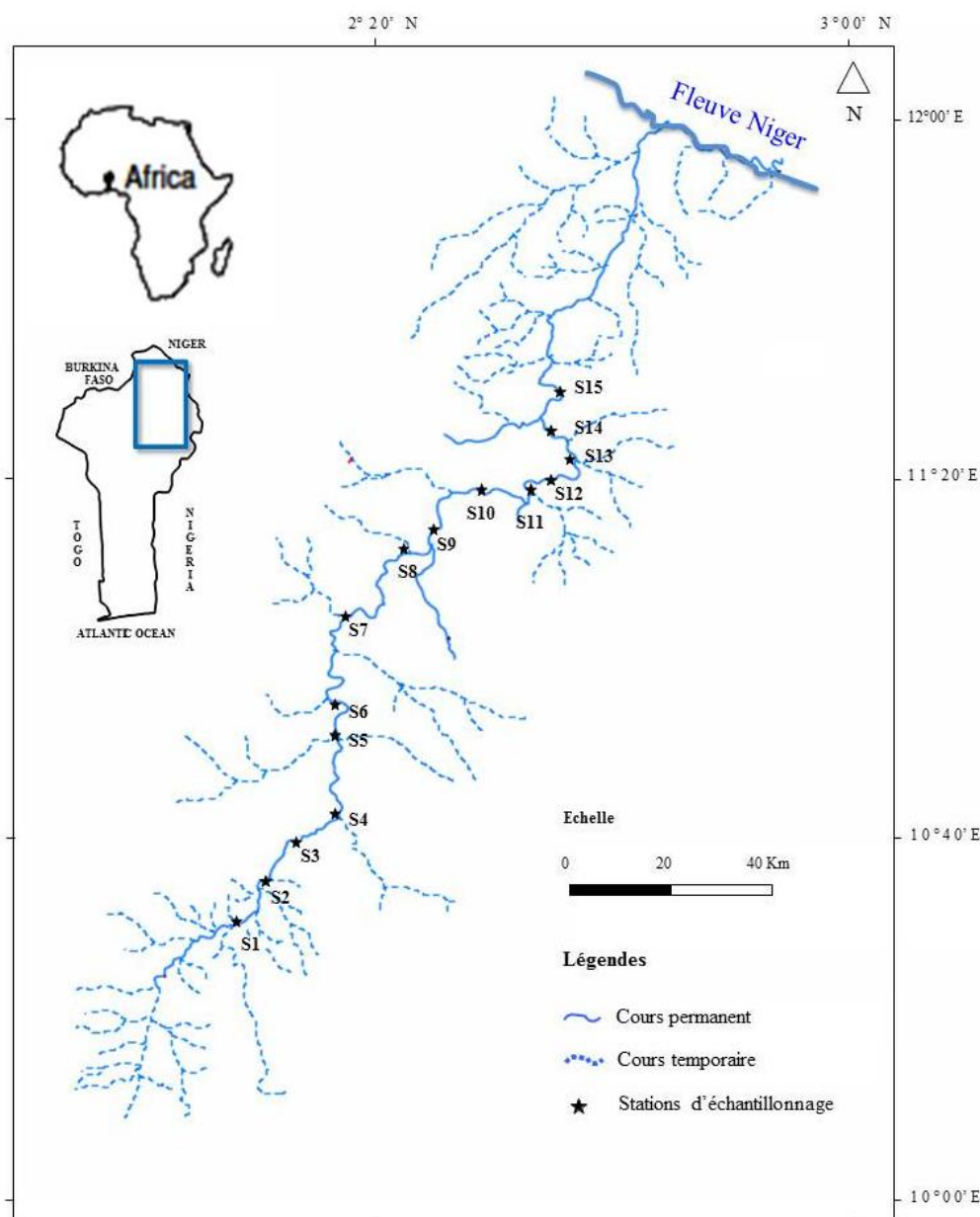
Cependant, l'utilisation des macroinvertébrés dans la surveillance de l'intégrité de la rivière Alibori est limitée par une insuffisance de connaissances sur la faunistique de ces organismes du cours d'eau. Aucune étude n'a été faite sur la macrofaune benthique de la rivière avec pour conséquence une indisponibilité d'une base de données. Or, l'utilisation de toute communauté biologique dans les systèmes de conservation et/ou de surveillance des eaux nécessite la caractérisation de sa diversité et de sa structure [8]. Le travail d'inventaire constitue une étape préliminaire importante à toute bio-indication basée sur les macroinvertébrés. La connaissance assez complète de la composition de la faune benthique de l'Alibori, est nécessaire à l'utilisation de cette faune dans l'appréciation de son état écologique.

Ce travail vise à dresser l'inventaire brut des macroinvertébrés de la rivière Alibori sans une analyse de sa diversité à afin de fournir une base de données nécessaire à toute étude ultérieure de la diversité, de la répartition et de la structure de la communauté.

## **2 MATERIELS ET METHODES**

### **2.1 MILIEU D'ETUDE**

La rivière Alibori est un écosystème situé en zone soudanienne entre 10°30' et 12° de latitude Nord et 1°32' et 3°50' de longitude Est (Figure 1). Elle naît à 410 m d'altitude environ, dans le massif granitique de Kita sur le flanc de la chaîne de l'Atacora dans la commune de Péhonco. D'un bassin versant couvrant une superficie de 13 740 km<sup>2</sup>, la rivière Alibori est longue de 427 km. Dans son cours moyen, le lit de la rivière est coupé de nombreux rapides. La pente du lit de l'Alibori est dans l'ensemble faible, de 0,5 à 0,2 m/km. Le bassin de l'Alibori est bordé, à l'Ouest, par les reliefs correspondant aux roches les plus basiques du groupe de Kandi; à l'Est, par les collines quartzitiques du groupe de Gbadagba dans la région de Bembèrèkè, puis par les reliefs formés sur les roches du groupe de Kandi. L'Alibori reçoit sur sa rive droite le Souédarou, le Sarédarou et le Darou-Woka; sur sa rive gauche, le Morokou, la Kparé, le Kénou, le Konékoga et le Kpako avant de se jeter dans le Niger en amont de Malanville. Elle s'étend dans le département d'Alibori avec beaucoup d'affluents éparpillés dans les communes du bassin cotonnier (Kandi, Gogounou, Banikora, Ségbana, Karimama et Malanville).



**Fig. 1. Bassin de la rivière Alibori montrant les stations d'échantillonnages.**

## 2.2 COLLECTE DES MACROINVERTEBRES

Quinze stations ont été choisies le long d'un gradient longitudinal de la rivière (Figure 1). Toutes ont été échantillonnées mensuellement, soit 12 campagnes d'échantillonnages pendant la durée de l'étude (de juin 2015 à Mai 2016).

La collecte des invertébrés a été réalisée avec plusieurs engins. Dans les zones profondes, la benne de type Eckman de 25 cm, a été utilisée pour l'échantillonnage des organismes. A chaque station, 10 coups de benne ont été donnés. Le filet troubleau avec une ouverture triangulaire de 25 cm de côté a servi à récolter les invertébrés dans les zones peu profondes sur une longueur de 10 m. Cet engin, muni d'un collecteur situé à la base du filet, permet de récolter les organismes après qu'il soit trainé au fond de l'eau à l'aide de sa manche. Cinq coups ont été donnés à chaque fois. Les solides flottants et les racines des macrophytes de surface et de la berge ont été prélevés pour l'échantillonnage des organismes. Les organismes collectés ont été recueillis dans des bocaux contenant de formol à 5%. Au laboratoire, les invertébrés ont été rincés, triés et identifiés.

### 2.3 IDENTIFICATIONS DES MACROINVERTEBRES

Au laboratoire, les organismes ont été triés station par station. Le tri s'est déroulé sous une loupe binoculaire. Au cours de cette opération, les invertébrés sont séparés selon leur apparence morphologique et regroupés par classe, par ordre, par famille. La détermination taxonomique a été opérée jusqu'au niveau de l'espèce sauf si les clés ne le permettent pas. La détermination s'est achevée par la conservation des organismes dans l'alcool.

### 2.4 ANALYSE DU PEUPLEMENT ET TEST STATISTIQUE

La richesse des groupes zoologiques (genre et espèces) a été déterminée. Les pourcentages de la richesse des groupes par rapport à la richesse totale du milieu ont été déterminés.

L'abondance, c'est le nombre d'individus (N) d'une espèce ou d'un groupe taxonomique dans un prélèvement donné. L'Abondance relative (Nr) correspond au rapport en pourcentage du nombre d'individus d'un taxon, d'une station au nombre total d'individus de tous les taxons de toutes les stations. L'abondance et l'abondance relative des groupes taxonomiques des macroinvertébrés ont été déterminées par station, mois et par saison.

La densité exprime le nombre d'individus récoltés par unité de surface ou de volume. Dans ce travail, c'est la densité surfacique des macroinvertébrés qui a été calculée en pondérant les abondances par la surface effective de balayage.

L'occurrence (F) renseigne sur la constance d'une espèce dans un habitat donné sans aucune indication sur son importance quantitative [7]. La fréquence d'occurrence (F) d'un taxon est le ratio entre le nombre d'échantillon ( $p$ ) d'une station où le taxon est présent par le nombre total (P) d'échantillons.

$$F = \frac{p}{P} \times 100$$

Trois groupes d'espèces sont définis selon la valeur de F :

- des espèces constantes ( $F \geq 50 \%$ );
- des espèces accessoires ( $25 \% \leq F < 50 \%$ );
- des espèces accidentelles ( $C F 25 \%$ ).

Le test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour tester la variabilité spatiale et temporelle des densités des macroinvertébrés.

## 3 RÉSULTATS

### 3.1 COMPOSITION TAXONOMIQUE GLOBALE

Les différents taxons de macroinvertébrés benthiques récoltés au cours de l'étude et classés dans les différents groupes taxonomiques sont dressés dans le Tableau 1. Au total, 91 taxons (genres et espèces) représentant 39 718 individus de macroinvertébrés benthiques ont été inventoriés pendant la période d'étude. Ces taxons sont regroupés en 41 familles, 13 ordres et 7 classes. Le peuplement est largement dominé par les Insectes qui ont renfermé 75 taxons, soit 82,41% de la richesse totale de la macrofaune récoltée (Figure 2). Les insectes ont appartenu 6 ordres et 30 familles. Les mollusques ont été composés de 3 ordres, 6 familles et 11 espèces, soit 12,08% de la richesse totale. Les annélides et les crustacés ont été constitués respectivement de 4 et de 1 taxon.

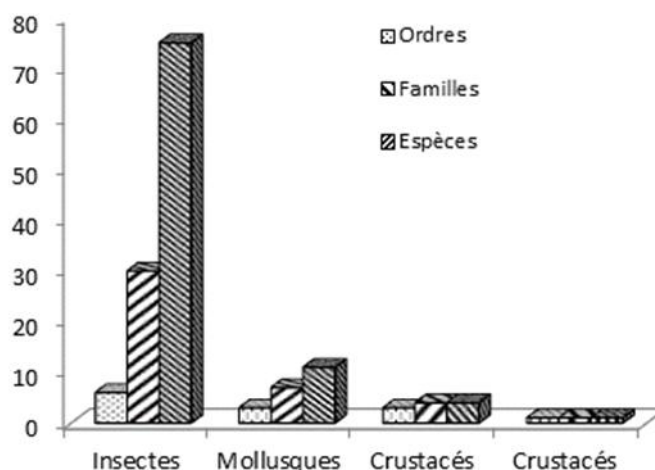


Fig. 2. Composition taxonomique globale des groupes de macroinvertébrés collectés sur la rivière Alibori.

### 3.2 INSECTES AQUATIQUES

#### 3.2.1 ORDRE DES COLÉOPTÈRES

L'entomofaune a été très riche avec les Coléoptères qui ont renfermé 9 familles et 36 espèces, soit 21,95 % des familles et 39,56% de la richesse totale (Figure 3). Cet ordre a représenté 48% de la richesse totale de la classe des Insectes. Les 9 familles de Coléoptères collectées sont : les Hydrophilidae, les Dytiscidae, les Hydrochidae, les Chrysomelidae, les Helophoridae, les Gyrinidae, les Elmidae, les Noteridae et les Spercheidae (Figure 4).

Les Hydrophilidae ont été la famille la plus importante des Coléoptères avec 38,88% de la richesse des Coléoptères. Ainsi avec 14 espèces, cette famille a été composée de 18,66% de la richesse totale des insectes et de 15,38% de la richesse totale de la macrofaune récoltée. Viennent ensuite les Dytiscidae, qui ont été formés de 12 espèces, soit 33,33% de la richesse totale des Coléoptères et 16% de la richesse totale des insectes. Les Noteridae ont renfermé 8,33% de la richesse totale de l'ordre et 4% de la richesse des insectes. Les Hydrochidae ont été représentés par 5,55% et 2,66% respectivement dans l'ordre des Coléoptères et dans la classe des insectes. Les Chrysomelidae, les Helophoridae, les Gyrinidae, les Elmidae et les Spercheidae n'ont apporté chacun qu'une seule espèce.

#### 3.2.2 ORDRE DES ODONATES

L'ordre des Odonates constitué de 8 familles, a été le second ordre le plus riche des insectes (Figure 3). Les Odonates ont regroupé ainsi 19,51% des familles des macroinvertébrés échantillonnés. Avec ses 17 espèces, il a représenté 22,66% de la richesse des insectes et 18,68% de la richesse totale de la macrofaune collectée (Figure 4).

La famille des Gomphidae a été la famille la plus fournie en espèce dans cet ordre avec 5 espèces. Elle pèse ainsi 29,04% de la richesse totale des Odonates et 6,66% de la richesse totale des insectes. Les Libellulidae ont été composés de 4 espèces représentant 23,52% des Odonates et 5,33% des insectes. Viennent ensuite les Coenagriidae et les Calopterygidae qui ont apporté chacun deux espèces. Ces familles représentent donc chacun, 11,76% de la richesse des Odonates et 2,66% de la richesse des insectes. Les familles des Aeshnidae, des Lestidae, des Cordulegasteridae et des Corduliidae n'ont représenté que 5,88% des Odonates et 1,33% des insectes collectés.

#### 3.2.3 ORDRE DES HÉTÉROPTÈRES

Les Hétéroptères ont été constitués de 7 familles, soit 16,66% des familles. Il s'agit de la famille des Corixidae, des Nepidae, des Mesoveliidae, des Aphelocheridae, des Notonectidae, des Naucoridae et des Belostomidae. Les Hétéroptères ont renfermé 10 espèces représentant 13,33% des insectes et 10,98% des macroinvertébrés inventoriés (Figure 3 et Figure 4).

La famille des Corixidae a été la plus riche de l'ordre avec 3 espèces, soit 30% de la richesse des Hétéroptères collectés. Les Nepidae, avec 2 espèces, représentent 20% des Hétéroptères. Les autres familles ont apporté chacune une espèce.

Tableau 1. Liste des taxons de macroinvertébrés récoltés dans la rivière Alibori

|                                 |                                 |                               |
|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| <b>INSECTES</b>                 | <i>Micronecta scutellaris</i>   | <b>Coenagriidae</b>           |
| <b>COLEOPTERES</b>              | <b>Mesoveliidae</b>             | <i>Coenagrion</i> sp.         |
| <b>Dytiscidae</b>               | Mesoveliidae 1                  | <i>Pseudagrion wellani</i>    |
| <i>Hydrovatus</i> sp            | <b>Nepidae</b>                  | <b>Calopterygidae</b>         |
| <i>Hydrovatus reticuliceps</i>  | <i>Nepa rubra</i>               | <i>Hetaerina</i> sp.          |
| <i>Rhantus exsoletus</i>        | <i>Laccotrepes</i> sp.          | <i>Phaon iridipennis</i>      |
| <i>Dytiscus</i> sp              | <b>Aphelocheiridae</b>          | <b>Aeshnidae</b>              |
| <i>Hydaticus</i> sp             | <i>Aphelocheirus aestivalis</i> | <i>Anax junius</i>            |
| <i>Hydaticus aruspex</i>        | <b>Notonectidae</b>             | <b>Lestidae</b>               |
| <i>Hydaticus flavolineatus</i>  | Notonectidae 1                  | <i>Lestes congener</i>        |
| <i>Copelatus erichsoni</i>      | <b>Naucoridae</b>               | <b>GASTEROPODES</b>           |
| <i>Copelatus</i> sp.            | <i>Naucoris</i> sp.             | <b>MESOGASTEROPDES</b>        |
| <i>Laccophilus luctuosus</i>    | <b>Belostomidae</b>             | <b>Ampullaridae</b>           |
| <i>Laccophilus</i> sp.          | <i>Diplonychus</i> sp.          | <i>Lanistes ovum</i>          |
| <i>Cybister senegalensis</i>    | <b>EPHEMEROPTERES</b>           | <i>Lanistes varicus</i>       |
| <b>Hydrophilidae</b>            | <b>Ameletidae</b>               | <b>Thiaridae</b>              |
| <i>Berosus infuscatus</i>       | <i>Ameletus</i> sp.             | <i>Melanoides tuberculata</i> |
| <i>Berosus peregrinus</i>       | <b>Baetidae</b>                 | <i>Melanoides</i> sp.         |
| <i>Berosus striatus</i>         | <i>Baetis</i> sp                | <b>Lymnaeidae</b>             |
| <i>Berosus madagascariensis</i> | <b>PLECOPTERES</b>              | <i>Lymnaea</i> sp.            |
| <i>Berosus</i> sp               | <b>Leuctridae</b>               | <b>BASOMMATOPHORES</b>        |
| <i>Hydrochara caraboides</i>    | <i>Euleuctra geniculata</i>     | <b>Bulinidae</b>              |
| <i>Hydrochara obtusata</i>      | <b>DIPTERES</b>                 | <i>Bulinus forskali</i>       |
| <i>Enochrus natalensis</i>      | <b>Tabanidae</b>                | <i>Bulinus globosus</i>       |
| <i>Enochrus</i> sp.             | <i>Haematopota</i> sp.          | <i>Bulinus africanus</i>      |
| <i>Laccobius</i> sp.            | <b>Chironomidae</b>             | <i>Bulinus</i> sp.            |
| <i>Allocotocerus subaeneus</i>  | <i>Chironomus</i> sp.           | <b>Planorbidae</b>            |
| <i>Amphios senegalensis</i>     | <i>Critopus</i> sp.             | <i>Giraulus</i> sp.           |
| <i>Helochares dolus</i>         | <i>Ablabesmyia</i> sp           | <b>BIVALVES</b>               |
| <i>Helochares</i> sp.           | <i>Polypodium deletum</i>       | <b>UNIONOIDA</b>              |
| <b>Hydrochidae</b>              | <i>Polypodium abissyniae</i>    | <b>Unionidae</b>              |
| <i>Hydrochus elongatus</i>      | <i>Chrytochironomus</i> sp.     | <i>Anodonta</i> sp            |
| <i>Clivina fossor</i>           | <i>Nilodorum</i> sp             | <b>ACHETES</b>                |
| <b>Chrysomelidae</b>            | <b>Limoniidae</b>               | <b>GNATHOBDELLIFORMES</b>     |
| <i>Donacia</i> sp.              | <i>Dicranata</i> sp             | <b>Hirudidae</b>              |
| <b>Helophoridae</b>             | <b>ODONATES</b>                 | <i>Hirudo medicinalis</i>     |
| <i>Helophorus</i> sp.           | <b>Gomphidae</b>                | <b>OLIGOCHETES</b>            |
| <b>Gyrinidae</b>                | <i>Gomphus</i> sp               | <b>HAPLOTAXIDA</b>            |
| <i>Orectochilus</i> sp.         | <i>Paragomphus hejani</i>       | <b>Tubificidae</b>            |
| <b>Elmidae</b>                  | <i>Paragomphus</i> sp           | <i>Tubifex tubifex</i>        |
| <i>Potamophilus</i> sp.         | <i>Gomphus vastus</i>           | <b>Lumbricidae</b>            |
| <b>Noteridae</b>                | <i>Ictinogomphus</i> sp.        | <i>Eisenilla tetraedra</i>    |
| <i>Noterus</i> sp.              | <b>Cordulegasteridae</b>        | <b>POLYCHETES</b>             |
| <i>Hydrocanthus</i> sp.         | <i>Cordulegaster</i> sp         | <b>NEREIDIFORMES</b>          |
| <i>Canthydrus grandis</i>       | <b>Corduliidae</b>              | <b>Nereidae</b>               |
| <b>Spercheidae</b>              | <i>Cordulia</i> sp              | <i>Nereis</i> sp              |
| Spercheidae 1                   | <b>Libellulidae</b>             | <b>CRUSTACES</b>              |
| <b>HETEROPTERES</b>             | <i>Pistia stratiotes</i>        | <b>MYRIAPODES</b>             |
| <b>Corixidae</b>                | <i>Symptrum</i> sp.             | Myriapodes 1                  |
| <i>Corixa</i> sp                | <i>Libellula pulchella</i>      |                               |
| <i>Corixa punctata</i>          | <i>Libellula luctuosa</i>       |                               |

### 3.2.4 ORDRE DES DIPTÈRES

Les Diptères, avec trois familles, ont fourni 7,31% des familles des macroinvertébrés collectés dans cette étude. Il s'agit de la famille des Chironomidae, des Limoniidae et des Tabanidae. Cet ordre des insectes a fourni au total 9 espèces de macroinvertébrés. Les Diptères ont représenté ainsi 12% de la richesse des insectes et 9,89% de la richesse totale des organismes échantillonnés (Figure 3 et Figure4).

Avec 7 espèces, la famille des Chironomidae a été la plus riche des Diptères (77,77% des Diptères). Les familles des Limoniidae et des Tabanidae ont apporté chacune une espèce à l'ordre.

### 3.2.5 ORDRE DES EPHÉMÉROPTÈRES ET DES PLÉCOPTÈRES

Les Ephéméroptères et les Plécoptères ont été les ordres d'insectes les plus pauvres. Les Ephéméroptères et les Plécoptères ont représenté respectivement 2,19% et 1,09% de la richesse totale des invertébrés collectés.

Les Ephéméroptères ont été constitués de deux familles (Baetidae et Ameletidae) apportant chacune un taxon. Les Plécoptères, composés d'une seule famille (Leuctridae), ne sont représentés que par un seul taxon.

### 3.3 MOLLUSQUES

L'embranchement des Mollusques a été représenté par la classe des Gastéropodes et des Bivalves. Les Gastéropodes ont été constitués de deux ordres (Mesogastéropoda et Basommatophora) et de cinq familles (12,19% des familles). Les Bivalves ont été composés seulement de l'ordre des Unionoidea et d'une famille (Unionoidea).

La famille des Bulinidae a été la famille la plus riche des Gastéropodes avec 4 espèces. Les Bulinidae représentent ainsi 50% de la richesse des Gastéropodes. Viennent ensuite les familles des Ampullaridae et Thiaridae qui ont été représentés chacun par deux taxons. Les Lymnaeidae et les Planorbidae, quant à eux, ont fourni chacun une espèce.

### 3.4 VERS ET CRUSTACÉS

Les vers ont représenté 4,03% des organismes échantillonnés. Ils ont été constitués de la classe des Achètes (1 ordre, 1 famille, 1 espèce), des Oligochètes (1 ordre, 2 famille, 2 espèces) et des Polychètes (1 ordre, 1 famille, 1 espèce). Les deux familles des Oligochètes ont été la famille des Tubificidae et la famille des Lumbricidae. Les Achètes ont été représentés par la famille des Hurididae et les Polychètes par la famille des Nereidae.

Dans le groupe des crustacés, 1 taxon appartenant à un ordre et à une famille, a été inventorié.

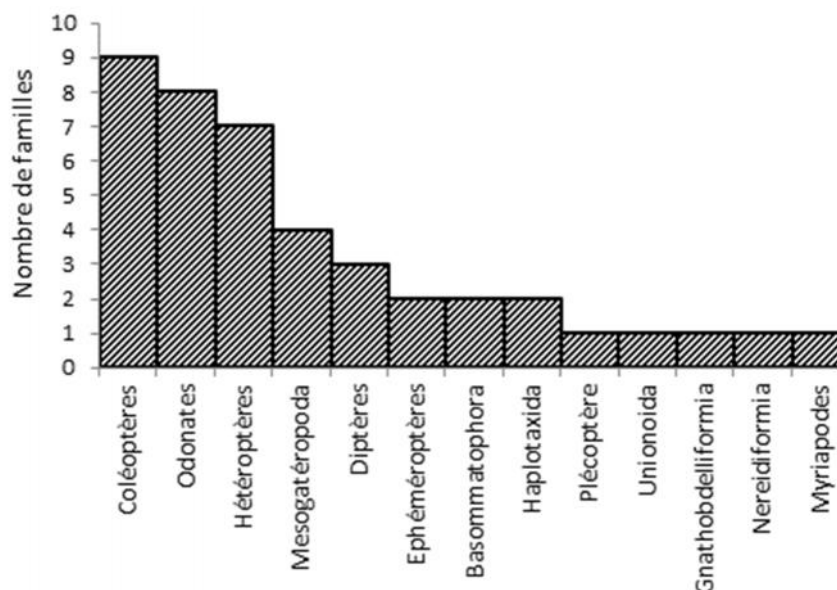


Fig. 3. La richesse en familles des ordres de macroinvertébrés collectés sur la rivière Alibori.

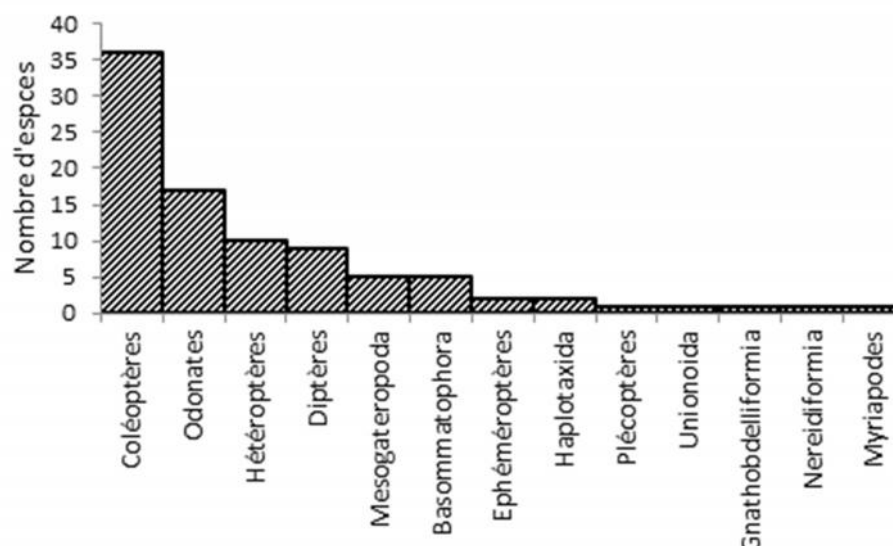


Fig. 4. Composition taxonomique des ordres de macroinvertébrés collectés sur la rivière Alibori.

### 3.5 ABONDANCES DES INSECTES, VERS ET CRUSTACÉS

La figure 5 a illustré l'abondance relative des grands groupes zoologiques collectés sur la rivière Alibori.

Les Coléoptères ont été les ordres les plus abondants. Avec 16 103 individus, ils ont représenté 56,40% de l'effectif des insectes et 40,54% de l'abondance totale des macroinvertébrés récoltés. La famille des Hydrophilidae été la principale famille de l'ordre avec 4569 individus, soit 28,37% des coléoptères, 16% des insectes, et 11,5% de l'abondance totale des échantillons collectés. Suivent les Hydrochidae qui ont été constitués 4231 individus pesant ainsi 26,27% de l'abondance des Coléoptères, 14,82% des insectes et 10,65% de l'abondance totale des individus collectés. Les Dytiscidae ont présenté une abondance de 18,56% des Coléoptères avec un effectif de 2989 individus. Ils ont constitué 10,47% de l'effectif des insectes et 7,52% de l'abondance totale de la macrofaune benthique. Les Chrysomélidae (1696 individus) ont représenté 10,53% de l'abondance des Coléoptères, 5,94% des insectes et 4,27% de l'abondance totale. Les Noteridae (1066 individus) et les Helophoridae (1026 individus) ont pesé respectivement 6,61% et 6,37% de l'abondance des Coléoptères. Les Noteridae (3,73% des insectes) et les Helophoridae (3,59% des insectes) constituent respectivement 2,68% et 2,58% de l'abondance totale.

Les Odonates ont été le second ordre le plus abondant dans la classe des insectes. Dans cet ordre, 6630 individus ont été collectés pendant la période d'échantillonnage. Ils ont fait 23,22% des insectes et 16,69% de l'ensemble des spécimens collectés. La famille des Libellulidae a représenté 41,59% de l'effectif de l'ordre avec 2758 individus. Ainsi, les Libellulidae ont constitué 9,66% des insectes et 6,94% des invertébrés récoltés. Viennent ensuite les Corduliidae avec 1547 individus, qui ont représenté 23,33% des Odonates, 5,41% des insectes et 3,8% de l'abondance totale. Dans la famille des Gomphidae, un effectif de 1044 individus a été collecté représentant 15,74% des Odonates, 3,65% des insectes et 2,62% de la macrofaune récoltée. Les Coenagriidae (237 individus), les Lestidae (223 individus), les Calopterygidae (181 individus) et Aeshnidae (177 individus) ont présenté une abondance de moins de 1% des insectes.

Les Diptères ont été un ordre important en effectif. Avec seulement trois familles, cet ordre a fourni 4934 individus, soit 17,28% des insectes et 12,42% des macroinvertébrés dénombrés. La famille des Chironomidae été la principale famille (3860 individus) avec une abondance de 78,23% de l'effectif des Diptères. Cette famille représente ainsi 13,52% des insectes et 9,71% des organismes récoltés. La famille des Tabanidae a recueilli 992 individus et pèse 20,1% de l'abondance des Diptères, 3,74% des insectes et 2,49% de l'abondance totale. La famille des Limoniidae a renfermé seulement 82 individus et a représenté 1,66% des Diptères et 0,28% des insectes.

Les Hétéroptères, avec 753 individus, ont représenté 2,63% des insectes et 1,89% de l'Abondance totale. Les Corixidae, la famille la plus abondante de l'ordre (385 individus), ont été constitués de 51,12% des Hétéroptères, 1,34% des insectes et 0,96% de l'abondance totale. Les Nepidae ont été représenté par 11,55% des Hétéroptères et constituent la seconde famille de l'ordre. Les Nepidae, les Mesoveliidae, les Aphelocheridae, les Notonectidae, les Naucoridae et les Belostomidae ont représenté chacun moins de 1% de l'abondance totale.

Les Ephéméroptères et les Plécoptères ont été les ordres d'insectes les plus pauvres en effectif. Les Ephéméroptères et les Plécoptères ont représenté respectivement 0,16% et 0,15% de l'abondance totale.

L'ensemble des vers récoltés ont une abondance de moins de 1%. La famille des Huriidae de la classe des Achètes a été la plus abondante dans ce groupe avec 0,25% de l'abondance totale. Les crustacés récoltés ont présenté une abondance de moins 1%.

### 3.6 ABONDANCES DES MOLLUSQUES

Un effectif de 10 906 de mollusques a été collecté, soit 27,45% de l'abondance totale. Les Gastéropodes ont fourni 8788 individus et les Bivalves ont compté 2118 individus. Les Gastéropodes ont été les plus abondants avec 80,57% des mollusques et 22,12% de la macrofaune échantillonnée. La famille des Thiaridae a renfermé 4824 individus et a constitué 54,89% de l'abondance des Gastéropodes et 44,23% des mollusques. Avec cet effectif, la famille des Thiaridae pèse 12,14% de l'abondance totale et représente la famille la plus abondante de la macrofaune prélevée durant cette étude. Les Unionidae, la seule famille de Bivalves récoltée, a constitué 19,42% des Mollusques et 5,33% de la macrofaune échantillonnée. Les Ampullaridae, avec un effectif 1863, ont été aussi une famille importante (17,08% des mollusques et 4,69% de l'abondance totale). Les autres familles telles que les Bulinidae et les Lymnaeidae ont représenté respectivement 2,49% et 2,13% de l'abondance totale. La famille des Planorbidae a constitué de moins de 1% de l'abondance totale.

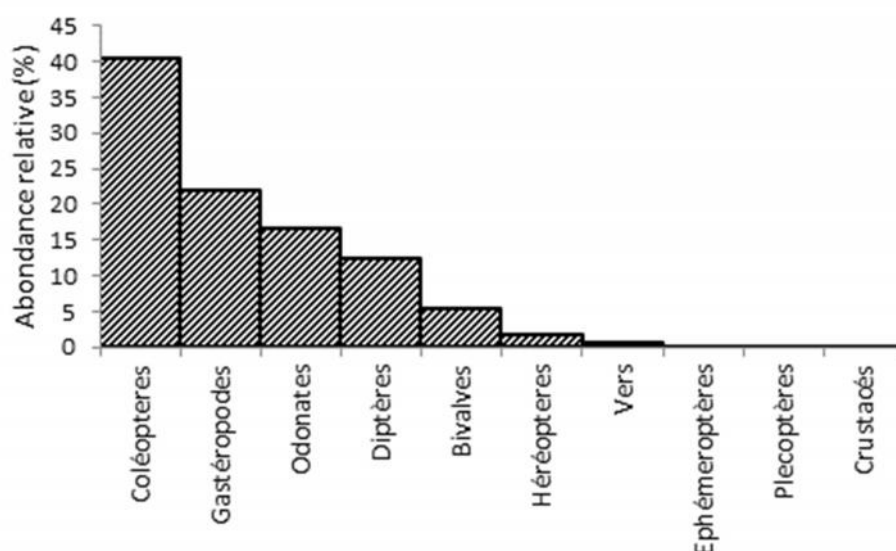


Fig. 5. Abondance relative des grands groupes zoologiques collectés sur la rivière Alibori.

### 3.7 EVOLUTION DE L'ABONDANCE DES MACROINVERTEBRES

La distribution des abondances absolue et relative à l'échelle des stations est assez variable (Figure 6). Les abondances absolues ont varié de 1559 à 5029 individus. La plus faible abondance a été observée à la station Kp dans la partie amont de la rivière et la plus forte abondance a été notée à la station Ag en aval. L'Analyse des abondances relatives ont montré une dominance des stations de l'aval en effectif de macroinvertébrés. Ainsi l'abondance relative qui a varié de 5,75% à 12,66%, a eu ses fortes valeurs au niveau des stations localisées en val de la rivière.

La variation saisonnière des abondances absolue et relative a été illustrée à la Figure 7. L'abondance relative a varié de 5,23% (2115 individus) en saison sèche à 10, 45% (4115 individus) en saison pluvieuse. Les plus grandes valeurs de l'abondance relative ont été enregistrées pendant les mois de la saison des pluies.

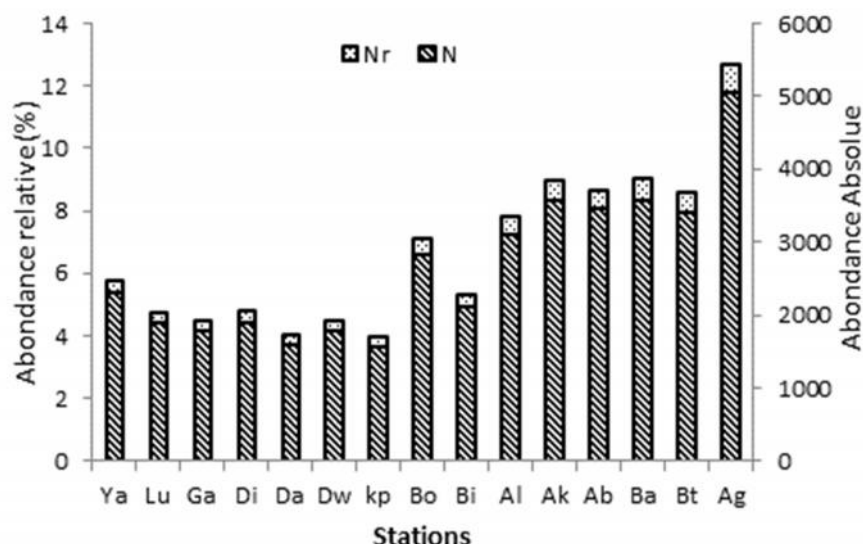


Fig. 6. Distribution spatiale des abondances absolue (N) et relative (Nr) des macroinvertébrés de la rivière Alibori.

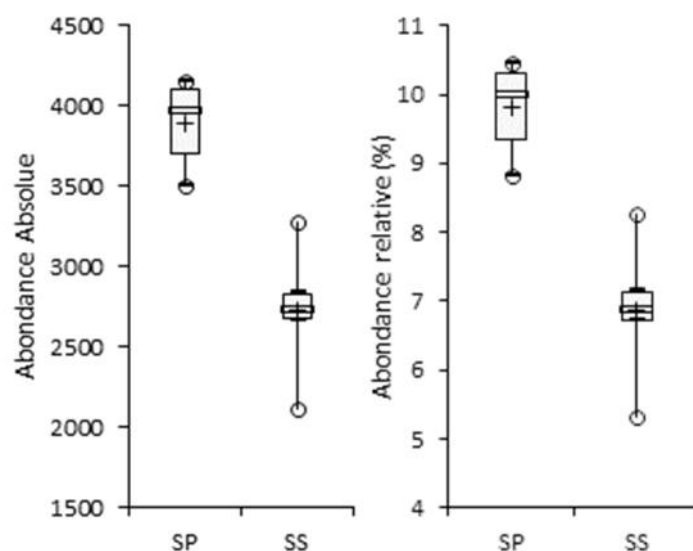


Fig. 7. Variation saisonnière des abondances absolue et relative des macroinvertébrés de la rivière Alibori, SP = saison des pluies, SS = Saison pluvieuse

### 3.8 EVOLUTION DE L'ABONDANCE DES PRINCIPAUX GROUPES DE MACROINVERTEBRES

La figure 8 a illustré la fluctuation spatiale de l'abondance absolue des groupes dominants de la macrofaune. A l'échelle de l'espace, les Coléoptères ont constitué la principale composante de la macrofaune en toutes stations. Les proportions des Coléoptères ont varié 559 individus à la station Da à 1373 individus à la station de Ag. Les Gastéropodes ont été le deuxième groupe le plus important en effectif au niveau des stations de l'aval (Al, Ak, Ab, Ba, Bt et Ag). Par contre, les Odonates se sont révélés comme la deuxième composante au niveau des autres stations située dans la zone amont de la rivière. L'abondance des Diptères a été très faible dans les stations d'amont (Ya, Lu, Ga, Di) et moyenne au niveau des stations du cours moyen (Da, Dw, Pk, Bo, Bi). Par contre, au niveau des stations de l'aval l'abondance des Diptères est très élevée par rapport aux autres stations.

A tous les mois de chaque saison, les Coléoptères ont été les plus abondants (Figure 9). La plus grande valeur de l'abondance absolue de ce groupe (1680 individus) a été enregistrée en juillet pendant la saison des pluies. La valeur minimale de l'abondance (885 individus) a été notée en avril pendant la saison sèche. Les Gastéropodes ont été très abondants pendant la saison des pluies et ont constitué la deuxième composante en effectif au niveau des mois de cette période.

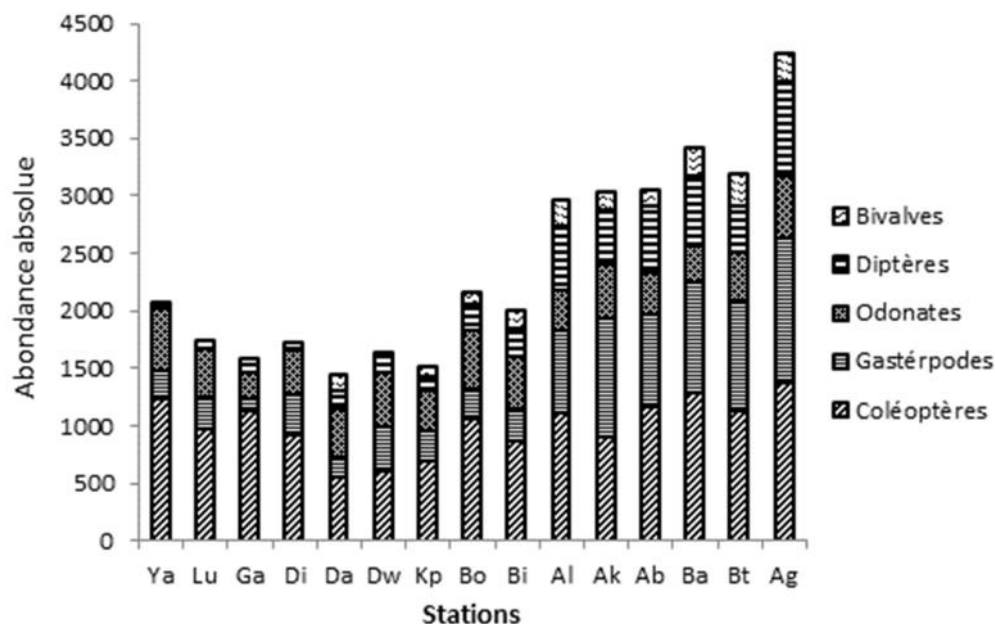


Fig. 8. Variation spatiale de l'abondance des principaux groupes de macroinvertébrés de la rivière Alibori.

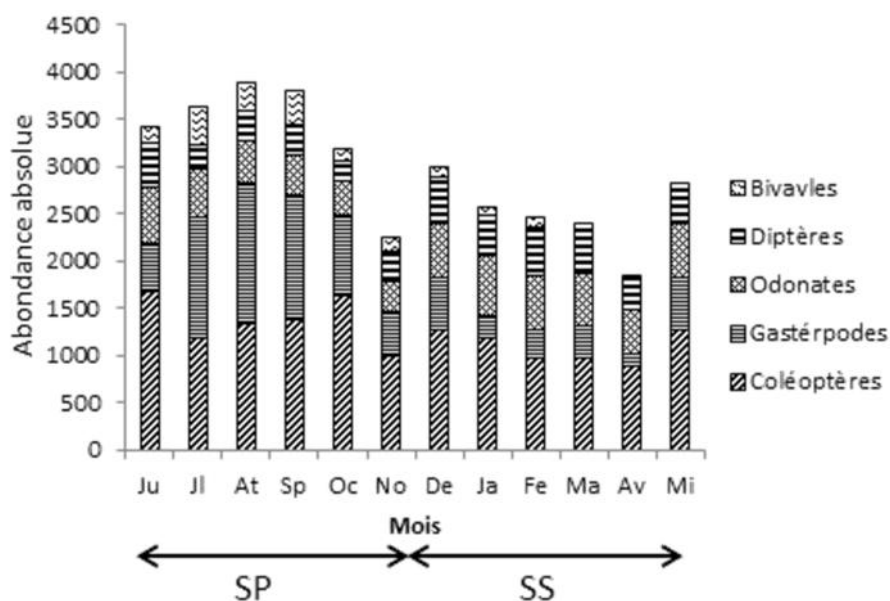


Fig. 9. Variation saisonnière de l'abondance des principaux groupes de macroinvertébrés de la rivière Alibori.

Ju= juin, Jl= juillet, Ao= août, Se= septembre, Oc= octobre, No= novembre, De= décembre, Ja= janvier, Fe= février, Ma= mars, Av= avril, Mi= mai, SP= Saison pluvieuse, SS= Saison sèche.

### 3.9 VARIATION DE LA DENSITÉ

Sur la rivière, la densité a oscillé entre 211 ind./m<sup>2</sup> à 677 ind./m<sup>2</sup> (Figure 10). Les valeurs maximales de la densité ont été obtenues au niveau des stations de l'aval (Al, Ak, Ab, Ba, Bt, Ag). Cependant, la variation spatiale de la densité n'a pas connu une fluctuation significative (test de Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ ).

Du point de vue saisonnier (Figure 11), la densité a présenté ses grandes valeurs pendant la saison pluvieuse. La densité a varié de 253 ind./m<sup>2</sup> (avril) à 530 ind./m<sup>2</sup> (août). Les densités ont été relativement faibles pendant la saison des pluies. La variation mensuelle de la densité n'a pas été significative (test de Kruskal-Wallis,  $p > 0,05$ ).

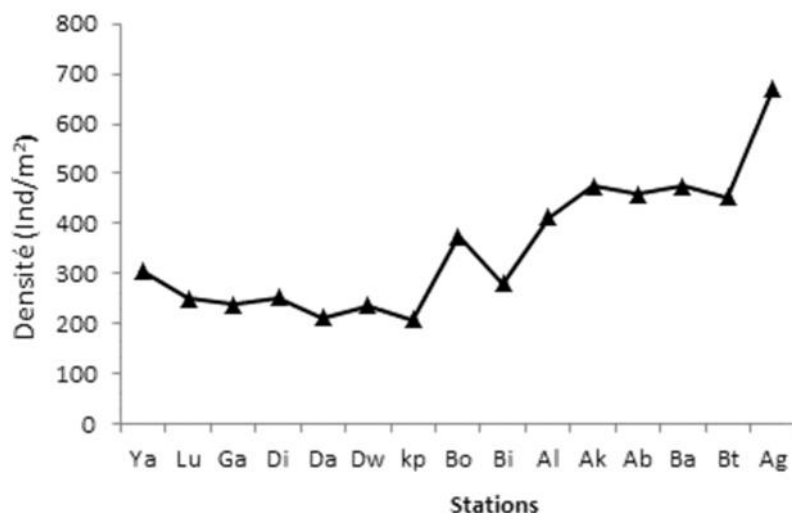


Fig. 10. Variation spatiale de la densité des macroinvertébrés de la rivière Alibori.

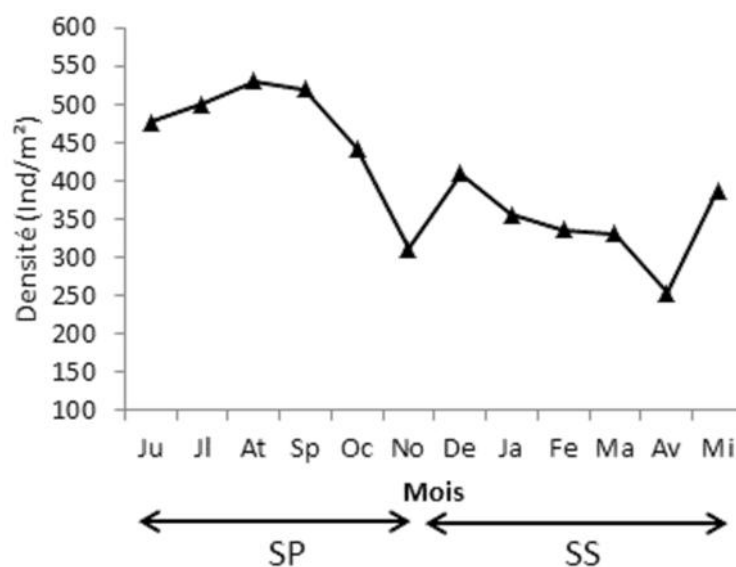


Fig. 11. Variation saisonnière de la densité des macroinvertébrés de la rivière Alibori.

Ju= juin, Jl= juillet, Ao= août, Se= septembre, Oc= octobre, No= novembre, De= décembre, Ja= janvier, Fe= février, Ma= mars, Av= avril, Mi= mai, SP= Saison pluvieuse, SS= Saison sèche.

### 3.10 CONSTANCE DES TAXONS

Du point de vue d'occurrence, 9,1% des taxons récoltés ont été constants (Tableau 2). Les taxons accessoires ont représenté 21,84% de la richesse totale des macroinvertébrés. Enfin, 51,87% des taxons récoltés ont été accidentels. Seuls les taxons accidentels dont la fréquence d'occurrence est au moins 12% figurent dans le Tableau 2.

Tableau 2. Classification des taxons sur la base de la fréquence d'occurrence.

| Taxons constants              | Taxons accessoires              | Taxons accidentels              |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <i>Berosus peregrinus</i>     | <i>Hydrovatus</i> sp            | <i>Cybister senegalensis</i>    |
| <i>Hydrochus elongatus</i>    | <i>Hydrovatus reticuliceps</i>  | <i>Berosus madagascariensis</i> |
| <i>Clivina fossor</i>         | <i>Rhantus exoletus</i>         | <i>Laccobius</i> sp.            |
| <i>Donacia</i> sp.            | <i>Dytiscus</i> sp              | <i>Allocotocerus subaeneus</i>  |
| <i>Chironomus</i> sp.         | <i>Hydaticus</i> sp             | <i>Amphios senegalensis</i>     |
| <i>Critopus</i> sp.           | <i>Berosus infuscatus</i>       | <i>Helochares dolus</i>         |
| <i>Cordulia</i> sp            | <i>Berosus striatus</i>         | <i>Helochares</i> sp.           |
| <i>Libellula pulchella</i>    | <i>Berosus</i> sp               | <i>Laccobius</i> sp.            |
| <i>Melanoides tuberculata</i> | <i>Hydrochara caraboides</i>    | <i>Potamophilus</i> sp.         |
| <i>Lymnaea</i> sp.            | <i>Hydrochara obtusata</i>      | <i>Noterus</i> sp.              |
|                               | <i>Enochrus</i> sp.             | <i>Hydrocanthus</i> sp.         |
|                               | <i>Helophorus</i> sp.           | <i>Nepa rubra</i>               |
|                               | <i>Aphelocheirus aestivalis</i> | <i>Laccotrephes</i> sp.         |
|                               | <i>Haematopota</i> sp.          | <i>Gomphus</i> sp               |
|                               | <i>Ablabesmyia</i> sp           | <i>Paragomphus hejani</i>       |
|                               | <i>Gomphus vastus</i>           | <i>Paragomphus</i> sp           |
|                               | <i>Cordulegaster</i> sp         | <i>Ictinogomphus</i> sp.        |
|                               | <i>Pistia stratiotes</i>        | <i>Lubellula luctuosa</i>       |
|                               | <i>Pistia stratiotes</i>        | <i>Coenagrion</i> sp.           |
|                               | <i>Pseudagrion wellani</i>      | <i>Hetaerina</i> sp.            |
|                               | <i>Anax junius</i>              | <i>Lanistes ovum</i>            |
|                               | <i>Lanistes varicus</i>         | <i>Bulinus globosus</i>         |
|                               | <i>Melanoides</i> sp.           | <i>Bulinus</i> sp.              |
|                               | <i>Anodonta</i> sp              | <i>Hirudo medicinalis</i>       |

#### 4 DISCUSSION

L'étude de la macrofaune benthique de la rivière Alibori a permis de récolter 91 taxons repartis en 42 familles. Cette composition faunistique de la macrofaune benthique semble être éloignée de celle trouvée dans la rivière Agnèby (50 taxons) par [8] en Côte d'Ivoire. Par contre, elle est très proche de celle trouvée par [9] dans le fleuve Niger à Niamey et correspond globalement à la richesse des macroinvertébrés des eaux douces africaines [10]. En effet, les eaux douces sont relativement pauvres par rapport aux milieux lagunaires où la riche biodiversité des macroinvertébrés est liée à l'importance écologique de ces milieux estuariens favorisée par leur proximité avec la mer qui leur fournit des espèces marines via les marées et la présence de mangroves [11].

L'entomofaune domine largement la biodiversité des macroinvertébrés de la rivière Alibori où elle représente plus de 82% de la richesse totale de la rivière. Cette hiérarchie a été également respectée dans le fleuve Niger à Niamey où les insectes ont prédominé dans la biodiversité benthique de cette portion du fleuve [9]. D'autres résultats similaires ont été obtenus où les auteurs insistent sur la forte richesse des insectes dans les systèmes dulçaquicoles. [7] signalent notamment du point de vue richesse, la présence très marquée de ce groupe des macroinvertébrés dans les plans d'eau du Burkina-Faso. La forte richesse des insectes dans la rivière est surtout liée aux conditions écologiques qui prévalent dans ces types d'écosystèmes aquatiques. En effet, les eaux douces offrent aux communautés entomologiques une disponibilité des ressources environnementales fondamentales pour la reproduction et la croissance de larves d'insectes [12]. La forte richesse de l'entomofaune est principalement le fait des Coléoptères. La dominance de cet ordre plaide en faveur d'un milieu écologique, favorisant le développement de ces insectes. Les coléoptères sont les seuls insectes holométaboles à se présenter à la fois sous la forme imaginaire et sous la forme larvaire dans les milieux aquatiques. Ils colonisent divers habitats quand les conditions deviennent austères pour les autres espèces diminuant les compétitions interspécifiques [13]. Dans ces conditions écologiques perturbées, il est souvent noté le développement des groupes indifférents à la pollution. Ainsi, la présence des Diptères Chironomidae surtout aux stations situées en aval dans la zone de forte production agricole révèle l'accumulation des résidus issus des intrants agricoles et met en exergue une situation écologique préoccupante de la rivière [14]. En effet, malgré la forte richesse de l'entomofaune, il a été observé une faible richesse des Ephéméroptères, des Plécoptères et l'absence totale des Trichoptères. Cette forte richesse des autres groupes d'insectes au détriment des Ephéméroptères et des Trichoptères, dont

leur présence est indicatrice d'une eau de bonne qualité, semble indiquer un milieu perturbé ([11] ; [15]). Des travaux similaires réalisés en rivière par [16]; [17] ; [8] comme en lagune par [18], [11], indiquent par ailleurs que la richesse spécifique des Ephéméroptères et des Plécoptères baisse avec la pression des activités anthropiques. Ces taxons qui sont réputés vivre dans des milieux propres bien oxygénés et dont la présence dans un milieu est indicatrice de la bonne qualité des eaux, ne pourraient proliférer donc dans un milieu qui est sous l'influence permanent des pressions agricoles ([19] ; [20]).

La malacofaune a été moins riche que les insectes mais ne semble pas être trop éloignée de la richesse des Mollusques fréquemment signalée dans les eaux douces africaines [10]. La végétation, la teneur en calcium, la nature du substrat et la vitesse du courant d'eau contribuent considérablement dans la répartition et la prolifération des mollusques dans les eaux continentales [21]. La malacofaune représentée par 6 familles dont une des Bivalves, correspond globalement à la richesse des Mollusques dans la portion Niamey du fleuve Niger signalée par [9]. L'absence d'influence marine pourrait contribuer à la faible biodiversité des Mollusques des cours d'eau et tranche ainsi avec la forte diversité des Mollusques dans les milieux estuariens béninois ([18] ; [11]). Les Gastéropodes de la famille des Thiaridae ont une forte fréquence d'occurrence et semblent s'adapter aux conditions abiotiques de toutes les stations se montrant indifférents à la qualité physico-chimique des eaux. Par contre, les Bulinidae se sont montrés très rares traduisant une faible présence de cette famille dans le cours d'eau.

Du point de vue d'abondance des ordres, les Coléoptères ont été les plus abondants avec les Gastéropodes en deuxième position. Cette hiérarchie a été observée au niveau de la rivière Agneby en Côte d'Ivoire où les insectes avec 50% de l'abondance totale, domine la macrofaune suivis des Mollusques. La dominance en effectif des Coléoptères est principalement le fait des familles de Hydrophilidae, de Hydrochidae et de Dytiscidae qui sont très représentées. Les Hydrochidae ont fourni des espèces avec une occurrence constante, *Hydrochus elongatus* et *Clivina fossor*, qui sont adaptées aux conditions des stations et comporté comme des véritables taxons indifférents à la qualité de l'eau de la rivière. L'abondance des Gastéropodes est essentiellement liée à la famille des Thiaridae qui a été la famille la plus abondante de la macrofaune. L'effectif important des Thiaridae semble confirmer d'autres études où ces mollusques dominent largement le peuplement des eaux douces et lagunaires ([22] ; [9] ; [11]). Les Thiaridae ont été fondamentalement représentés par *Melanoides tuberculata*, une espèce constante qui domine en effectif.

L'évolution spatiale des ordres a montré que les Coléoptères ont dominé à toutes les stations. Cependant, c'est la variation de la deuxième composante du peuplement qui explicite le profil de distribution des taxons et la situation écologique de l'écosystème. Les Odonates ont été la deuxième composante après les Coléoptères, qui ont colonisé les stations situées en amont tandis que les Gastéropodes ont représenté la seconde composante dans les stations de l'aval. Cette distribution spatiale de l'abondance des groupes de macroinvertébrés traduit une répartition zonale amont-aval avec le développement des Thiaridae dans les stations de l'aval. Le résultat penche en faveur de la minéralisation et de l'enrichissement en matières organiques des stations de l'aval. Cette observation met en exergue l'importance de la biomasse algale et l'existence de plantes aquatiques dont se nourrissent ces mollusques à ces stations. Ainsi, les stations de l'aval ont favorisé le développement des espèces comme *Melanoides tuberculata*, *Lanistes variscus* et *Anodonta* sp. qui sont des espèces opportunistes [23]. Aussi, l'abondance élevée des Chironomidae aux stations situées en aval au détriment des stations d'amont confirment la distribution amont-aval des taxons et incriminent d'avantage la dégradation de la qualité de l'eau qui pourrait être liée au drainage des intrants agricoles. En effet, l'installation des activités agricoles à proximité des écosystèmes perturbent les communautés benthiques et contribuent à la diminution de la richesse spécifique et même la répartition des espèces ([24] ; [7]). Dans ces conditions environnementales défavorables, quatre types de réactions sont notées à savoir la perte de taxons sensibles à une légère pollution, une réduction progressive de la densité de certains taxons et leur disparition sur les sites très pollués, ce qui justifie d'ailleurs le nombre élevé de taxons rares et accidentels dans la macrofaune de la rivière Alibori. Ensuite, l'augmentation de la densité de certains taxons soumis à une faible charge polluante et enfin, la prolifération d'autres taxons polluo-tolérants à certaines stations à charge polluante élevée ([25] ; [26]).

L'effet saison a profondément agi sur la distribution des abondances des ordres. Les taxons ont été globalement plus abondants dans le milieu pendant la saison de pluies. Cette dynamique est liée aux pluies et inondations qui, pendant les périodes de crue accélèrent la productivité des écosystèmes aquatiques et une couverture végétale plus dense des habitats. Cette situation favorise l'augmentation de l'abondance des taxons [27]. Ainsi, les pluies favorisent le recrutement des larves des invertébrés surtout d'insectes et leur développement [28]. Le phénomène facilite la recolonisation des habitats aquatiques par les macroinvertébrés, car offrant aux organismes, de nouvelles conditions idéales dans ces milieux soumis à des perturbations naturelles et anthropiques. L'effectif important des Mollusques à cette saison est non seulement lié aux pluies, mais aussi à l'utilisation des engrais azotés et phosphatés dans la culture cotonnière dans la période, qui engendre une croissance accélérée des algues, nourritures par excellence des racleurs comme les Mollusques qui deviennent plus abondants.

## 5 CONCLUSION

La présente étude a permis de recenser sur la rivière Alibori 91 taxons d'invertébrés répartis en sept classes. La classe la plus diversifiée est celle des insectes avec un total 75 taxons, soit 82,41% de la richesse. La famille des Thiaridae s'est révélée comme la plus abondante. Les variations de la richesse et l'abondance des groupes zoologiques obtenus ont tendance à suivre une zonation longitudinale et une évolution saisonnière. Cependant, les seules données de richesses taxonomiques et d'abondances ne sont pas suffisantes pour analyser et quantifier les différentes variations. Une analyse de la diversité et des variations sur la base des indices semblent obligatoires pour mieux caractériser la communauté des macroinvertébrés et la stabilité du milieu.

## RÉFÉRENCES

- [1] H. Bazairi, A. Bayed et C. Hily, "Structure et bioévaluation de l'état écologique des communautés benthiques d'un écosystème lagunaire de la côte atlantique marocaine" *C. R. Biologies* vol. 328, pp. 977–990, 2005.
- [2] V. Minaya, M. McClain, O. Moog, F. Omengo and G. A. Singer, "Scale-dependent effects of rural activities on benthic macroinvertebrates and physico-chemical characteristics in headwater streams of the Mara River, Kenya", *Ecological Indicators*, vol. 32, pp. 116–122, 2013.
- [3] M. De Jonge, C. Belpaire, C. Geeraerts, W. De Cooman, R. Blust and L. Bervoets, "Ecological impact assessment of sediment remediation in a metal-contaminated lowland river using translocated zebra mussels and resident macroinvertebrates" *Environmental Pollution*, Vol. 171, pp. 99–108, 2012.
- [4] J. Aazami, A. S. Esmaili, P. J. Van den Brink, A. Abdoli and H. Sohrabi, "Assessment of Ecological Quality of the Tajan River in Iran Using a Multimetric Macroinvertebrate Index and Species Traits" *Environmental Management*, vol. 56 pp. 260–269, 2015.
- [5] C. Gonzalo and J. A. Camargo, "The impact of an industrial effluent on the water quality, submersed macrophytes and benthic macroinvertebrates in a dammed river of Central Spain", *Chemosphere*, Vol. 93, 1117–1124, 2013.
- [6] A. K. Mehari, V. Vijverberg, A. Wondie, M. Mingist and J. Vijverberg, "Spatial and seasonal variation in the macroinvertebrates and physico-chemical parameters of the Enfranz River, Lake Tana sub-basin (Ethiopia)", *Ecohydrology & Hydrobiology*, Vol. 14, pp. 304–312, 2014.
- [7] S. Sanogo, J. A. N. Kabré et P. Cecci, "Inventaire et distribution spatio-temporelle des macroinvertébrés bioindicateurs de trois plans d'eau du bassin de la Volta au Burkina Faso", *International of Biological and Chemical Sciences*, Vol. 8, no. 3, pp. 1005–1029, 2014.
- [8] D. Diomandé, K. Y. Bony, E. O. Edia, K. F. Konan KF et G. Gourène, "Diversité des Macroinvertébrés Benthiques de la Rivière Agnéby (Côte d'Ivoire; Afrique de l'Ouest)", *European Journal of Scientific Research*, Vol. 35, no. 3, pp. 368–377, 2009.
- [9] B. Alhou, Y. Issiaka, A. Awaiss et J. C. Micha, "Premier inventaire des macro-invertébrés du fleuve Niger à Niamey comme bioindicateurs de la pollution urbaine et industrielle", *Hydroécologie Appliquée*, Vol. 18, pp. 139–163, 2014.
- [10] Durand J R et Lévêque C, *Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne*, 2<sup>nd</sup>. Paris : ORSTOM, p 483, 1981.
- [11] D. Adandédjan, "Diversité et déterminisme des peuplements de macroinvertébrés benthiques de deux lagunes du Sud-Bénin : la Lagune de Porto-Novo et la Lagune Côtière", Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, p. 261, 2012.
- [12] O. E. Edia, S. Brosse, A. Ouattara, G. Gourène, P. Winterton and S. Lek-Ang, "Aquatic insect assemblage patterns in four West African coastal rivers", *J. Biol. Sci.*, Vol. 7, pp. 1130–1138, 2007.
- [13] A. Ben moussa, A. Chahlaoui, E. Rour et M. Chahboune, "Diversité taxonomique et structure de la macrofaune benthique des eaux superficielles de l'oued khoumane. Moulay idriss Zerhoun", *J. Mater. Environ. Sci.*, Vol. 5, no. 1, pp. 183–198, 2014.
- [14] M. S. Foto, T. S. H. Zebaze, T. N. L. Nyamsi, G. A. Ajeagah et T. Njiné, "Evolution spatiale de la diversité des peuplements de macroinvertébrés benthiques dans un cours d'eau anthropisé en milieu tropical (Cameroun)", *European Journal of Scientific Research*, Vol. 55, no. 2, pp. 291–300, 2011.
- [15] S. Carvalho, M. Barata, F. Pereira, M. B. Gaspar, L. C. da Fonseca, P. Pousao-Ferreira, "Distribution patterns of macrobenthic species in relation to organic enrichment within aquaculture earthen ponds", *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 52, pp. 1573–1584, 2006.
- [16] D. M. Carlisle, M. R. Meador, S. R. Moulton and P. M. Ruhl, "Estimation and application of indicator values for common macroinvertebrate genera and families of the United States", *Ecological Indicators*, Vol. 28, pp. 7–22, 2007.
- [17] E. O. Edia, M. Gevrey, A. Ouattara, S. Brosse, G. Gourène and S. Lek, "Patterning and predicting aquatic insect richness in four West-African coastal rivers using artificial neural networks", *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, Vol. 398, no. 06, pp. 1–6, 2010.

- [18] P. M. Gnohossou, "La faune benthique d'une lagune ouest africaine (le Lac Nokoué au Bénin), diversité, abondance, variations temporelles et spatiales, place dans la chaîne trophique ", Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse, p. 169, 2006.
- [19] Y. C. Jun, D. H. Won, S. H. Lee, D. S. Kong and S. J. Hwang, "A Multimetric Benthic Macroinvertebrate Index for the Assessment of Stream Biotic Integrity in Korea", *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Vol. 9, pp. 3599-3628, 2012.
- [20] A. Fagrouch, A. Berrahou, H. El Halouani, "Impact d'un effluent urbain de la ville de Taourirt sur la structure des communautés de macroinvertébrés de l'oued Za (Maroc oriental)", *Revue des sciences de l'eau*, vol. 24, no. 2, pp. 87-101, 2011.
- [21] L. Karrouch, "Bio-évaluation de la qualité des eaux courantes de la région Meknès (Centre- Sud, Maroc) : Impact sur l'environnement et la sante ". Thèse doctorat es sciences en biologie, Faculté des sciences. Meknès, p. 216, 2010.
- [22] K. N. Kouadio, "Diversité et structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques des lagunes de Côte d'Ivoire : Aby, Ebrié et GrandLahou", Thèse de doctorat, Université d'Abobo-Adjamé, Abobo-Adjamé, p. 162, 2010
- [23] D. Adandédjan, P. Lalèyè et G. Gourène, "Macroinvertebrates communities of a coastal lagoon in southern Benin, West Africa", *International of Biological and Chemical Science*, Vol.6, no. 3, pp. 1233-1252, 2012.
- [24] A. Mazzola, S. Mirto, T. La Rosa, M. Fabiano and R. Danovaro, "Fishfarming effects on benthic community structure in coastal sediments: analysis of meiofaunal recovery", *Journal of Marine Science*, Vol. 57, pp. 1454-1461, 2000.
- [25] Y. Younes-Baraillé, X. F. Garcia and J. Gagneur, "Impact of the longitudinal and seasonal changes of the water quality on the benthic macroinvertebrate assemblages of the Andorran strezams", *C.R. Biologies*, Vol. 328, pp. 963 -976. 2005
- [26] J. O. Olomukoro and O. C. Nduh-Tochukwu , "Macroinvertebrate colonization of artificial substrata II: weeds and plant stems" *Asian Journal of Plant Sciences*, Vol.5, no. 6, pp. 990-995, 2006.
- [27] D. Adandédjan, P. Lalèyè, A. Ouattara, G. Gourène, "Distribution of Benthic Insect Fauna in a West African Lagoon: The Porto-Novo Lagoon in Benin" *Asian Journal of Biological Sciences*, Vol. 4, no. 2, pp.116-127, 2011.
- [28] M. S. Foto, T. S. H. Zebase, T. N. L. Nyamsi et T. Njiné, "Macroinvertébrés benthiques d'un cours d'eau Nga: Essai de caractérisation d'un référentiel par des analyses biologiques". *European Journal of Scientific Research*, Vol. 43, pp. 96-106, 2010.

## Sur l'étude didactique du rapport au savoir des élèves et la problématique du niveau dudit rapport : Cas du théorème de Pythagore

**Israël DISASHI KABADI**

Chef de Travaux au Département de Mathématique et Informatique,  
Université Pédagogique Nationale (U.P.N.), KINSHASA,  
RD Congo

---

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This article presents our analyses, in a didactical approach of the relationship to knowledge, from the didactic writings relating to situations of teaching-learning of the Pythagoras's theorem, which writings have allowed us, with manual and official programs school most used in the DRC at the level of 3<sup>RD</sup> and 4<sup>th</sup> years secondary, to define, in terms of "3C relationships" [Rap1(Relationship of Knowledge), Rap2(Relationship of comprehension) and Rap3(Relationship of contextualisation)] relations that an individual or institution can maintain with the Pythagoras's theorem, on the one hand; and put on feet, from the notes of 3C relationships defined in this study, three levels to appreciate the evolution of the relationship to knowledge of students to the Pythagoras's theorem, including the level "low", "medium" and "high", on the other hand. This allows the operationalization of the relationship to knowledge on the didactical plan. The article also has some variables that we used to enjoy their possible influence on the relationship to knowledge in study, among students in the classes of Scientific Humanities of a school chosen to test the feasibility of the didactical study of 3C relationships.

**KEYWORDS:** Didactics of mathematics, teaching science, didactical approach of the relationship to knowledge, 3C relationships, anthropological approach, level scale, Pythagoras's theorem.

**RESUME:** Cet article présente nos analyses faites, dans une approche didactique du rapport au savoir, à partir des écrits didactiques relatifs aux situations d'enseignement/apprentissage du théorème de Pythagore, lesquels écrits nous ont permis, avec les programmes officiels et manuels scolaires les plus utilisés en RDC au niveau de 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> années secondaires, de définir en termes de « rapports de 3C » [Rap1(=rapport de Connaissance), Rap2 (=rapport de Compréhension) et Rap3 (=rapport de Contextualisation)] les relations qu'un individu ou une institution peut entretenir avec le théorème de Pythagore, d'une part ; et de mettre sur pieds, à partir des notes de rapports de 3C définies dans cette étude, une échelle de trois niveaux pour apprécier l'évolution du rapport au savoir des élèves au théorème de Pythagore, notamment le niveau « bas », celui « moyen » et celui « élevé », d'autre part. Ceci a facilité l'opérationnalisation du rapport au savoir sur le plan didactique. L'article présente également certaines variables auxquelles nous avons recouru pour apprécier leur éventuelle influence sur le rapport au savoir en étude, auprès des élèves dans les classes des humanités scientifiques d'une école choisie en vue de tester la faisabilité de l'étude didactique des rapports de 3C.

**MOTS-CLEFS:** Didactique des mathématiques, Didactique des sciences, Approche didactique du rapport au savoir, Rapports de 3C, Approche anthropologique, Echelle des niveaux, Théorème de Pythagore.

## 1 CONTEXTE DU QUESTIONNEMENT

### 1.1 LA QUESTION DU THÉORÈME DE PYTHAGORE AU SEIN DES RECHERCHES EN DIDACTIQUE DES MATHÉMATIQUES

Le concept objet de connaissance pour notre recherche, à savoir « le théorème de Pythagore », a été l'objet de plusieurs recherches en mathématiques ; ces dernières visant son origine, sa démonstration et ses applications dans le cadre de l'enseignement, étant donné que chaque concept, chaque théorème n'a d'intérêt que dans son rapport précis et quantifié au « sens » qui éclaire la discipline dans son intégralité, comme l'a dit Philippe LOMBART<sup>1</sup> dans son article sur « Peut-on envisager une transposition didactique des mathématiques qui les rendent accessibles au plus grand nombre ? ».

Dans leur article sur "Autour de l'enseignement de la géométrie au collège", Yves Chevallard et Michel Jullien nous déclarent qu'aujourd'hui, on peut dire que la géométrie part du monde sensible pour se constituer en monde géométrique, celui des points, des droites, des cercles, des sphères, des courbes, des surfaces et des volumes, etc. ; de la même façon que, plus largement, la physique part du monde sensible pour le constituer en monde physique. Cet article nous parle aussi du paradigme géométrique que l'élève va devoir apprendre à maîtriser, notamment, « manipuler avec pertinence les sur- et sous-figures », sachant que la conception d'une figure comme représentation d'objets de l'espace est un frein ou obstacle à ce libre jeu avec les figures perçues comme ensembles des points de l'espace qui font fécondité de la géométrie. Cette figure, à construire par le géomètre, doit être effectivement l'objet d'étude pour en faire dériver l'objet matériel.

Par ailleurs, l'enseignement de la géométrie devant tenir compte des trois aspects de la géométrie développés par GONSETH<sup>2</sup> (1946) notamment l'aspect intuitif, celui rationnel et celui expérimental, lesquels aspects représentent pour lui les trois aspects de la connaissance, le théorème de Pythagore n'en fait pas exception du fait qu'elle est basée sur l'étude des relations entre les mesures des côtés des triangles rectangles, une des figures géométriques.

En outre, nous prenons en compte les paradigmes géométriques définis par Alain KUZNIAK pour l'étude de la géométrie enseignée, à savoir les paradigmes GI (géométrie naturelle), GII (la géométrie axiomatique naturelle) et GIII (la géométrie axiomatique formaliste), lesquels paradigmes lui ont permis d'aborder le problème de la clarté du paradigme géométrique mis en jeu sous son double aspect : celui dépendant du cadre institutionnel (les cadres doivent savoir dans quel paradigme leurs compétences sont testées) et celui dépendant de la nature des problèmes posés (les acteurs doivent identifier que les problèmes posés sont (-ils) clairement dans le paradigme en question).

Le travail géométrique se déployant dans un espace particulier, KUZNIAK a défini cet espace comme un Espace de Travail Géométrique (ETG), lequel espace est sujet, de fois, de malentendus qui doivent être levés par une analyse épistémologique. C'est ainsi qu'il a pu introduire deux formes, ci-dessous, du *théorème de Pythagore*, lesquelles formes ont le mérite d'illustrer le jeu des paradigmes géométriques utile en vue d'une évaluation conséquente:

- *Forme abstraite classique* portant sur des nombres réels et sur des égalités :  
« Si le triangle ABC est rectangle en B alors  $A^2 + B^2 = C^2$  ».
- *Forme concrète pratique* qui utilise des nombres approchés et, de façon courante, des figures approchées :  
« Si le triangle ABC est "à peu près" rectangle en B alors  $A^2 + B^2 \cong C^2$  ».

En effet, si l'image proposée dans un domaine de géométrie est considérée comme objet matériel dessiné, on peut recourir à la forme concrète pratique du théorème de Pythagore pour le résoudre, et on est, précise KUZNIAK, à un niveau avancé de la géométrie naturelle (GI). En se plaçant ainsi dans la géométrie I, il sera possible que l'on mesure et utilise les outils de construction comme instrument de mesure. Mais le théorème de Pythagore joue un rôle fondamental dans certains types de problèmes en évitant le recours à une mesure effective, ce qui permet un changement de cadre<sup>3</sup> en privilégiant l'approche numérique de la géométrie. Par ailleurs, en se plaçant dans la géométrie II, on considérera que les valeurs données sur une

---

<sup>1</sup> Lombard (2003) : [www.irem.univ-lorraine.fr/Lomb/sens.pdf](http://www.irem.univ-lorraine.fr/Lomb/sens.pdf)

<sup>2</sup> GONSETH, F. (1946).

<sup>3</sup> Dans le sens employé par Douady.

image proposée dans un problème ne sont pas des valeurs mesurées mais des valeurs exactes, et par voie de conséquence on va utiliser le théorème de Pythagore dans sa forme abstraite classique.

## 1.2 LA QUESTION DU RAPPORT AU SAVOIR AU SEIN DES RECHERCHES EN DIDACTIQUES DES SCIENCES

Le concept du rapport au savoir a été l'objet des plusieurs recherches visant entre autre sa définition, son utilité. Les travaux menés autour de ce concept de rapport au savoir se situent actuellement dans plusieurs champs de recherche notamment sociologique [Bourdieu, 1964], clinique [Beillerot, 1989], microsociologique [Charlot, 1997], macrosociologique [Hayder, 1977], anthropologique [Chevallard, 1992], didactique [Chartrain, 1998].

Nous considérons que *le rapport au savoir* est une relation qui peut exister entre d'un côté le savoir et de l'autre côté un individu ou une institution. Cependant, parmi ces champs de recherche sur le concept de rapport au savoir, nous avons constaté, du moins respectivement dans la triple approche théorique ci-après, ce qui suit :

- ✓ Dans l'approche sociologique : ces relations sont identifiables en termes d'attitudes que l'on retrouve dans l'échelle d'attitudes définie par le groupe de recherche "Education, Didactiques et Psychologie" [CHABCHOUB, A. 2001]<sup>4</sup>, l'entrée de ce rapport au savoir étant du côté du sujet psycho-social. Et on peut apprécier l'évolution de ce rapport au savoir.
- ✓ Dans l'approche anthropologique : ces relations sont identifiables en termes de compétences, car elles sont en principe commandées par un rapport à la connaissance qui met au premier plan la fonctionnalité des savoirs ou leur utilité publique et privée ; l'entrée de ce rapport au savoir étant prééminente du côté du sujet cognitif. Et on peut également apprécier l'évolution de ce rapport au savoir.
- ✓ Dans l'approche didactique : ces relations se démarquent des attitudes et des compétences, et donc restent à définir ; l'entrée de ce rapport au savoir étant du côté du savoir. Ainsi, l'évolution de ce rapport au savoir reste à définir.

## 2 CADRE THEORIQUE ADOPTE ET QUESTIONNEMENT

Il est vrai qu'il n'y a pas de savoir sans rapport au savoir. De surcroît, le rapport au savoir d'un individu se construit et évolue de sorte que l'échec scolaire [Charlot, 1984] d'un élève se comprend dans comment se constitue son rapport au savoir d'un côté, et comment s'articule les différents niveaux de ce rapport au savoir, de l'autre côté ; ce rapport au savoir pouvant ainsi être influencé lors des situations d'apprentissages.

Sur ce, et en considérant que le théorème de Pythagore, comme tout autre concept ou théorème, n'a d'intérêt que dans son rapport précis et quantifié<sup>5</sup> au « sens » qui éclaire la discipline dans son intégralité, nous avons adopté une approche théorique, notamment l'approche didactique du rapport au savoir, en nous intéressant à la problématique de l'opérationnalisation du rapport au savoir, plus précisément des relations des élèves au théorème de Pythagore, en vue de pouvoir déterminer une échelle des niveaux susceptible de faciliter l'étude de l'évolution dudit rapport au savoir. Ainsi, notre questionnement se présente de la manière suivante :

« Comment peut-on arriver à opérationnaliser le rapport au savoir des élèves au théorème de Pythagore et déterminer le niveau dudit rapport au savoir sur le plan didactique ? Quelles variables peuvent influencer ce rapport au savoir ? »

Nous avons fait nos investigations dans cette étude sur base de l'hypothèse ci-après :

« L'analyse des écrits didactiques relatifs aux réflexions sur les situations d'enseignement/apprentissage du théorème de Pythagore pourrait conduire à la détermination des relations audit théorème, et en faciliter ainsi la mise sur pied d'une échelle des niveaux utile pour l'étude éventuelle de l'évolution du rapport personnel des élèves. Le niveau des classes, l'élève lui-même et/ou les variables didactiques peuvent influencer ce rapport au savoir. »

Pour rendre notre étude plus intéressante, nous avons pris l'option de tester la faisabilité d'une étude didactique du rapport au savoir au théorème de Pythagore en prenant en compte le fait que l'on ne peut pas comprendre les apprentissages personnels des élèves si l'on ne cherche pas [Y. Chevallard, 1992] à comprendre les apprentissages institutionnels, et que

<sup>4</sup> A.M. Lamine : « Pertinence et limites de la notion de rapport au savoir en didactiques des sciences ». L'échelle a pour attitudes : Attitude de rejet, attitude d'implication, attitude de déchirement, attitude nuancée et attitude utilitaire.

<sup>5</sup> LOMBARD, P. (2003), p. 4.

semblablement, on ne peut pas comprendre les échecs d'apprentissages personnels sans prendre en compte le refus de connaître de certaines institutions dont l'élève (ou la personne) en échec est le sujet. Ceci nous a poussé à prendre en compte l'approche anthropologique du rapport au savoir, afin d'interroger d'abord les institutions scolaires, par l'analyse des programmes officiels et des manuels scolaires en vue d'y découvrir les relations prises en compte, et ensuite, interroger les élèves au travers d'un questionnaire de recherche mettant en jeu les différentes relations au théorème de Pythagore, avec pour finalité l'appréciation de la superposition éventuelle des deux rapports (de l'institution et de l'élève) au savoir en jeu.

L'intérêt majeur de ce travail réside en ce qu'il permet d'étudier la pertinence éventuelle du rapport au savoir, laquelle pertinence, une fois constatée, rendra justifiée une intervention didactique en vue de faire évoluer [R. Douady, 1996] ledit rapport au travers d'une ingénierie didactique appropriée.

### 3 METHODOLOGIE

Pour atteindre l'objectif de notre étude, nous avons choisi respectivement trois volées pour nos investigations de la manière suivante :

1. Détermination opérationnelle du rapport au savoir des élèves au théorème de Pythagore.
2. Détermination opérationnelle d'une échelle des niveaux du rapport au savoir des élèves au théorème de Pythagore.
3. Exemple d'étude didactique du rapport au savoir des élèves au théorème de Pythagore.

Pour les deux premières volées, nous avons utilisé les méthodes documentaire et d'analyse afin de non seulement appréhender les différentes relations, mais, également, de les définir en vue de mettre au point une échelle des niveaux y relatifs. Tandis que pour le troisième volet, nous avons utilisé, en sus, les techniques d'échantillonnage et la statistique pour non seulement choisir un échantillon d'étude mais également tester éventuellement nos hypothèses de travail.

Notre exemple d'étude didactique du rapport au savoir est établi sur base d'un échantillon des 20 élèves choisis à raison de 5 élèves par niveau des classes (3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> année secondaire) dans la section scientifique d'une école secondaire dans le cadre d'une étude prospective et sous les conditions de fonctionnement à deux gongs garantissant un meilleur encadrement des élèves.

### 4 PRESENTATION DES RESULTATS

#### 4.1 DÉTERMINATION OPÉRATIONNELLE DU RAPPORT AU SAVOIR DES ÉLÈVES AU THÉORÈME DE PYTHAGORE

En analysant les écrits didactiques relatifs aux problèmes d'enseignement/apprentissage du théorème de Pythagore, nous sommes arrivés à l'identification de trois relations sur le plan didactique, ces relations étant perçues du côté de notre objet élémentaire du savoir, notamment le théorème de Pythagore, de la manière ci-dessous.

Retenant le fait que sur le plan didactique, il s'agit ici de la relation que peut entretenir un élève avec le théorème de Pythagore, le travail en amont nous a permis d'identifier ce que nous appelons en définitive « *rapports de 3C* » [Connaissance, Compréhension et Contextualisation]. La relation d'un élève au théorème de Pythagore se manifeste sous les trois dimensions suivantes :

##### 4.1.1 LA DIMENSION DU « RAPPORT DE CONNAISSANCE » :

En effet, un élève de 4<sup>ème</sup> année secondaire a nécessairement étudié en 3<sup>ème</sup> secondaire le théorème de Pythagore, car cet objet élémentaire de savoir y est introduit selon les textes officiels de l'EPSP, ainsi que les manuels scolaires utilisés à ce niveau d'études. Ceci nous a conduit à considérer qu'il existe au moins une relation de connaissance de cet objet auprès des élèves de 4<sup>ème</sup> année secondaire.

Ce rapport, que nous noterons par « Rap1 », sera évalué au travers des productions des élèves à notre questionnaire sur base de la capacité d'un élève à produire l'une des informations ci-après :

- a. Cite ou donne : « Le théorème de Pythagore ».
- b. Cite ou donne : « La relation (ou la propriété) de Pythagore » ;

#### 4.1.2 LA DIMENSION DU « RAPPORT DE COMPRÉHENSION »

En effet, nous avons accepté l'idée qu'un élève [M. DEVELAY, 1995] est capable d'utiliser le théorème de Pythagore lorsqu'il a compris que ledit théorème n'est pas lié à un triangle rectangle avec seulement la connaissance de la valeur de deux côtés de l'angle droit pour la valeur de l'hypoténuse, mais que toute figure qui s'apparente à un triangle rectangle permet d'utiliser le théorème de Pythagore. Ceci nous a conduit à considérer qu'il existe au moins une relation de compréhension de cet objet auprès des élèves de 4<sup>ème</sup> année secondaire, laquelle relation se manifeste dans la reconnaissance par l'élève de toutes les formes équivalentes à la forme traditionnelle de la relation de Pythagore.

Ce rapport, que nous noterons par « Rap2 », sera évalué au travers des réponses des élèves à notre questionnaire sur base de la capacité d'un élève à utiliser le théorème de Pythagore pour toute figure qui s'apparente à un triangle rectangle, et cela en dehors du recours au jeu géométrique.

#### 4.1.3 LA DIMENSION DU « RAPPORT DE CONTEXTUALISATION »

Les réflexions sur la circulation des savoirs ont permis à Eric DELAMOTTE [2002] de déclarer cette idée que nous avons également retenue, concernant la question de savoir ce que produit l'école, je cite : « Il ne s'agit plus de savoir ce que nous avons acquis, mais de savoir ce que sont nos aptitudes intellectuelles (savoir exploiter l'information, résoudre des problèmes, exercer son jugement critique, mettre en œuvre sa pensée créatrice) ». Ceci l'a conduit enfin à réaliser qu'un élève qui aura étudié le théorème de Pythagore ne le saura que lorsqu'il sera capable de le contextualiser. Ceci nous a conduit à considérer qu'il existe une relation de contextualisation de cet objet auprès des élèves de 4<sup>ème</sup> année secondaire.

Ce rapport, que nous allons noter par « Rap3 », sera évalué au travers des réponses des élèves à notre questionnaire sur base de la capacité de l'élève à exploiter l'information, à exercer son jugement critique et à mettre en œuvre sa pensée créatrice jusqu'à trouver une figure s'apparentant au triangle rectangle, contexte favorable à l'utilisation du théorème de Pythagore. En effet, ceci va se manifester lorsque l'élève manipulera avec maîtrise le jeu géométrique en utilisant les informations implicites pertinentes qu'il aura découvertes dans le problème à résoudre.

En conclusion, nous avons retenu le fait qu'un élève entretient l'un de ces rapports lorsqu'il aura utilisé le théorème de Pythagore dans plus de 50% des questions relatives audit rapport.

### 4.2 DÉTERMINATION OPÉRATIONNELLE D'UNE ÉCHELLE DES NIVEAUX DU RAPPORT AU SAVOIR DES ÉLÈVES AU THÉORÈME DE PYTHAGORE

Pour faciliter la mise sur pied d'une échelle des niveaux du rapport au savoir des élèves au théorème de Pythagore sur le plan didactique, nous avons arrêté les principes de cotations ci-après pour les élèves:

- ) La côte A : l'élève entretient exactement tous les *rapports de 3C*.
- ) La côte B : l'élève entretient exactement deux des *rapports de 3C*.
- ) La côte C : l'élève entretient exactement un des *rapports de 3C*.
- ) La côte D : l'élève n'entretient aucun des *rapports de 3C*.

Les côtes ci-dessus nous ont aidé à définir une échelle de trois niveaux du rapport au savoir d'un élève au théorème de Pythagore, notamment le niveau « bas », le niveau « moyen » et le niveau « élevé », de la manière suivante :

- ) Le niveau « bas » : l'élève a obtenu une des côtes C et/ou D.
- ) Le niveau « moyen » : l'élève a obtenu la côte B.
- ) Le niveau « élevé » : l'élève a obtenu la côte A.

L'évolution de ce rapport au savoir des élèves au théorème de Pythagore va ainsi de l'ignorance ou la maîtrise d'un des *rapports de 3C* à la maîtrise de tous les *rapports de 3C*.

### 4.3 EXEMPLE D'ÉTUDE DIDACTIQUE DU RAPPORT AU SAVOIR DES ÉLÈVES AU THÉORÈME DE PYTHAGORE : CAS DES ÉLÈVES DES HUMANITÉS SCIENTIFIQUES

#### 4.3.1 SUR LE PLAN INSTITUTIONNEL

Pour aller à la découverte des *rapports des 3C* institutionnalisés, nous avons pu porter le choix sur l'analyse, d'une part, des programmes officiels de 3<sup>è</sup> et 4<sup>è</sup> années secondaires au travers des contenus prévus de paire avec leurs objectifs spécifiques et indications méthodologiques, et d'autre part, des manuels scolaires les plus utilisés, de 3<sup>è</sup> et 4<sup>è</sup> années,

notamment « Maîtriser les maths 3<sup>e</sup> » et « Maîtriser les maths 4<sup>e</sup> » : au travers de l'introduction du concept de théorème de Pythagore, essentiellement sur son institutionnalisation, et des exercices proposés aux élèves. L'introduction du théorème de Pythagore a été perçue au travers des définitions, des exemples et des démonstrations ; tandis que les exercices ont été analysés sur quatre volées ci-dessous :

- Le **type d'exercices** proposés (obtenu à l'issue d'un essai de catégorisation au mieux des énoncés), avec l'identification des rapports au savoir en jeu sur le plan didactique, ainsi que les variables didactiques en présence avec le niveau d'autonomie requis aux élèves.
- Les **cadres** [R. DOUADY, 1986] présents dans chaque exercice.
- Prenant en compte le discours soutenu par A. KUZNIAK, à propos des **paradigmes géométriques**, nous avons identifié les différents paradigmes géométriques présents dans chaque exercice. Il s'agissait de voir si oui ou non les exercices présentent des ambiguïtés donnant aux élèves la possibilité de choisir entre au moins deux paradigmes géométriques.
- Les **complexités des expressions** en jeu dans chaque exercice, ainsi que le degré des difficultés à reconnaître que le théorème de Pythagore est un outil pour la résolution du problème posé, ceci étant apprécié au travers de la présence explicite ou non du triangle rectangle. A propos des complexités, nous nous sommes intéressés par exemple, aux lettres choisies pour désigner les inconnus, au nombre des termes utilisés, aux exposants des expressions utilisés.

A l'issue de nos analyses sur les manuels scolaires, nous avons remarqué que, sur le plan didactique, à travers l'introduction du théorème de Pythagore, d'une part, les auteurs ont exploité les trois *rapports de 3C* de manière à peu près égale, et qu'à travers les 164 exercices relatifs aux applications (directes ou indirectes) dudit théorème, d'autre part, 7 cas se rapportent au rapport de connaissance (**Rap1**), 95 cas au rapport de compréhension (**Rap2**) et 37 cas au rapport de contextualisation (**Rap3**). Sachant que les programmes officiels analysés reconnaissent les trois *rapports de 3C*, ceci nous permet de dire que si le discours officiel de l'enseignant a été le même que son discours ostensif en classe, l'élève aurait développé les trois *rapports de 3C* ou du moins deux d'entre eux. Du reste tout élève des humanités scientifiques passe par la 3<sup>ème</sup> année scientifique où l'on commence à appliquer explicitement le théorème de Pythagore.

Du point de vue variable didactique, les auteurs des manuels scolaires ont exploité différemment, dans leurs chapitres relatifs aux applications du théorème de Pythagore, les variables didactiques ci-après : le dessin, l'ensemble de référence, la multiplicité d'application du théorème de Pythagore, la situation du problème et la méthode proposée. Cependant, pour cet article, nous ne nous sommes pas intéressés à apprécier l'éventuelle influence de la dernière variable, notamment la méthode proposée.

Par ailleurs, le jeu géométrique des « sur- et sous-figures » ayant été exploité par les auteurs au travers des exercices (problèmes) relatifs aux calculs de la diagonale d'un carré, d'une part, et de la hauteur d'un triangle équilatéral, d'autre part, cela en conformité avec les dispositions arrêtées dans les programmes officiels en cette matière, nous pensons que la présence de ce jeu dans le discours ostensif de l'enseignant en classe permettrait aux élèves d'en avoir éventuellement la maîtrise. Cependant, l'aspect instrumental du théorème de Pythagore a été laissé à l'appréciation des élèves du moins au travers des manuels scolaires que nous avons analysés, car notre constat est tel que sur les 164 exercices y proposés, 149 auraient une vision intuitive, 10 une vision rationnelle et 2 une vision expérimentale, en tenant compte de leurs différentes catégories.

#### 4.3.2 SUR LE PLAN PERSONNEL

Le questionnaire de recherche qui nous a permis d'apprécier la maîtrise des élèves pour ce qui concerne les *rapports de 3C* a connu une double analyse : une analyse *a priori* et une analyse *a posteriori*. L'analyse *a priori* a eu le mérite d'être basée sur les aspects ci-après :

- (1). Les *rapports de 3C* attendus des élèves par rapport au théorème de Pythagore.
- (2). Les capacités nécessaires pour la manifestation de ces *rapports de 3C*.
- (3). Les variables didactiques dans le cadre des compétences géométriques.
- (4). Les réponses attendues des élèves.
- (5). Les difficultés éventuelles des élèves.
- (6). Les hypothèses sur le jeu des paradigmes géométriques.

Tandis que l'analyse *a posteriori* a pu être faite sur base des productions des élèves.

La maîtrise, des *rapports de 3C*, s'étant faite apercevoir par le recours au théorème de Pythagore dans la résolution des exercices par les élèves, nous avons remarqué que, sur les 22 questions, le nombre de fois que les élèves d'une classe donnée

ont pu utiliser le théorème de Pythagore (UTP) soit avec une bonne réponse (+1), soit avec une mauvaise réponse (-1), ou n'ont pas pu utiliser le théorème de Pythagore (NUTP) soit avec une réponse donnée (0), soit sans aucune réponse (x) ; se présente de la manière ci-après :

**Tableau 1. Tableau du recours au théorème de Pythagore par les élèves selon les niveaux des classes**

| Niveau Classe \ TP       | UTP               |                   | NUTP             |                  |
|--------------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|
|                          | (1+) <sup>1</sup> | (1-) <sup>2</sup> | (0) <sup>3</sup> | (x) <sup>4</sup> |
| 3 <sup>ème</sup> Scient. | 15                | 11                | 27               | 25               |
| 4 <sup>ème</sup> Scient. | 19                | 15                | 19               | 27               |
| 5 <sup>ème</sup> Scient. | 38                | 8                 | 12               | 19               |
| 6 <sup>ème</sup> Scient. | 23                | 8                 | 10               | 37               |

Légende :

(1+) = Avec Bonne Réponse.

(1-) = Sans Bonne Réponse.

(0) = Avec Réponse.

(x) = Sans Réponse

Nous remarquons que les élèves de 5<sup>ème</sup> année et 4<sup>ème</sup> année scientifique ont été meilleurs que ceux de 6<sup>ème</sup> année et 3<sup>ème</sup> année scientifique par rapport à leur recours au théorème de Pythagore, tandis que les élèves de 5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> ont été meilleurs que ceux de 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> quant au pourcentage relatif au recours au théorème de Pythagore avec bonne réponse dans chaque Classe.

## 5 VERIFICATIONS DES HYPOTHESES

### 5.1 CONCERNANT L'OPÉRATIONNALISATION DU RAPPORT AU SAVOIR SUR LE PLAN DIDACTIQUE

L'analyse des écrits didactiques, de paire avec quelques programmes officiels et manuels scolaires, nous a conduit à retenir trois rapports au théorème de Pythagore dans une approche didactique du rapport au savoir, notamment les relations que nous avons définies en termes de « rapports de 3C » [Rap1 (rapport de connaissance), Rap2 (rapport de compréhension) et Rap3 (rapport de contextualisation)].

Dès lors, nous nous sommes posé la question de savoir si le recours des élèves au théorème de Pythagore dans la résolution des problèmes, différerait d'un des rapports de 3C à l'autre, significativement ou non. Pour cela, nous avons recouru au test q de Cochran. En effet, pour N=20 (taille de notre échantillon), K=3 (nombre des rapports de 3C), on a, après calcul,  $q = 18,727$ . Or la table de Khi-Deux nous donne, au seuil de  $p = 0,01$  avec  $dl = 2$ ,  $\chi^2_{0.01} = 9,21$ . Donc, on a  $q > \chi^2_{0.01}$ . D'où l'hypothèse  $H_0$  est rejetée. Ce qui atteste que le recours des élèves au théorème de Pythagore dans la résolution des problèmes différerait significativement avec 99 % de confiance.

Nous avons, en outre, obtenu les résultats ci-après, lesquels résultats regroupent les élèves du point de vue maîtrise des rapports de 3C par niveau de classe :

**Tableau 2. Tableau de maîtrise des rapports de 3C selon les niveaux des classes chez les élèves**

| Niveau classe \ Rapport de 3C |      |      |      |          |
|-------------------------------|------|------|------|----------|
|                               | Rap1 | Rap2 | Rap3 | EFFECTIF |
| 3 <sup>ème</sup> Sc.          | 1    | 3    | 1    | 5        |
| 4 <sup>ème</sup> Sc.          | 1    | 4    | 1    | 5        |
| 5 <sup>ème</sup> Sc.          | 2    | 5    | 3    | 5        |
| 6 <sup>ème</sup> Sc.          | 1    | 4    | 2    | 5        |
| TOTAL                         | 5    | 16   | 7    | 20       |

Il ressort de ce tableau que le rapport de compréhension (Rap2) serait mieux maîtrisé par les élèves à 80 % (soit 16/20) que les autres rapports de 3C, notamment le rapport de contextualisation (Rap3) à 35 % (soit 7/20) et le rapport de connaissance (Rap1) à 25 % (soit 5/20).

De ce qui précède, nous constatons que l'opérationnalisation des *rapports de 3C* du théorème de Pythagore est possible, et que donc notre hypothèse à ce niveau s'avère confirmée.

## 5.2 CONCERNANT L'ÉCHELLE DES NIVEAUX DU RAPPORT AU SAVOIR SUR LE PLAN DIDACTIQUE

Les données de notre recherche nous ont permis de réaliser par le tableau ci-dessous, le dénombrement d'élèves du point de vue note de *rapports de 3C* et par niveau de classes.

**Tableau 3.** *Tableau des notes des rapports de 3C obtenues par niveau de classe chez les élèves*

| Notes rapports 3C<br>Niveau classe | A | B | C | D | TOTAL |
|------------------------------------|---|---|---|---|-------|
| 3 <sup>e</sup> Sc.                 | 1 | 0 | 2 | 2 | 5     |
| 4 <sup>e</sup> Sc.                 | 1 | 0 | 3 | 1 | 5     |
| 5 <sup>e</sup> Sc.                 | 2 | 1 | 2 | 0 | 5     |
| 6 <sup>e</sup> Sc.                 | 1 | 1 | 2 | 1 | 5     |
| TOTAL                              | 5 | 2 | 9 | 4 | 20    |

Nous constatons que, pour notre échantillon, 25 % d'élèves ont la maîtrise de tous les *rapports de 3C*, tandis que 10 % d'élèves en ont maîtrisé deux, 45 % d'élèves en ont maîtrisé 1 et 20 % d'élèves n'en ont maîtrisé aucun. Ce qui reflète, du point de vue *rapports de 3C*, que :

- ) Il y a 5 élèves dont le rapport personnel est superposable au rapport institutionnel au théorème de Pythagore, et ont donc le niveau **élevé**.
- ) Il y a 2 élèves dont le rapport personnel est presque superposable au rapport institutionnel au théorème de Pythagore, et donc le niveau **moyen**.
- ) Il y a 13 élèves dont le rapport personnel est non superposable au rapport institutionnel au théorème de Pythagore, et ont donc le niveau **bas**.

Il est donc établi l'existence d'une échelle opérationnelle des niveaux du rapport au savoir des élèves au théorème de Pythagore, une échelle ayant trois niveaux à savoir : niveau **bas**, niveau **moyen** et niveau **élevé** en vue d'évaluer l'évolution dudit rapport. Ce qui nous permet de considérer que notre hypothèse à ce niveau s'avère confirmée.

## 5.3 CONCERNANT LES VARIABLES SUSCEPTIBLES D'INFLUENCER LE RAPPORT AU SAVOIR SUR LE PLAN DIDACTIQUE

### 5.3.1 CAS DE NIVEAU DES CLASSES

Pour nous permettre de vérifier l'hypothèse sur l'influence éventuelle du niveau des classes sur les *rapports de 3C*, nous avons considéré le tableau des contingences, lequel tableau donne l'effectif des élèves dans chaque groupe des notes de *rapports de 3C* [notamment le groupe des cotes A et B ainsi que le groupe des cotes C et D], et par niveau des classes.

La taille N de notre échantillon étant égale à 20 ( $N < 30$ ), nous avons utilisé, vu les valeurs des effectifs théoriques, le test logarithmique de SPITZ pour tester notre hypothèse. En effet, nous avons, après calcul,  $I = 2,42958375$ . Or la table de Khi-Deux nous donne, au seuil de  $p = 0,05$  avec le degré de liberté  $dl = 3$ , la valeur  $\chi^2_{0.05} = 7,815$ . On a ainsi  $I < \chi^2_{0.05}$ . Donc l'hypothèse  $H_0$  est confirmée. D'où, statistiquement, le niveau de classe n'influerait pas à 95 % de confiance sur les notes de *rapports de 3C*, et en conséquence sur les *rapports de 3C*. Ceci contredit notre hypothèse selon laquelle le niveau de classes influencerait sur les *rapports de 3C*.

### 5.3.2 CAS DE L'ÉLÈVE LUI-MÊME

Nous avons considéré les tableaux de contingences, lesquels tableaux donnent l'effectif des élèves dans chaque groupe des notes des *rapports de 3C*, et par l'élève (soit par son sexe soit par son âge), afin d'apprécier l'influence éventuelle de l'élève (soit de son sexe, soit de son âge) sur les *rapports de 3C* en se basant sur ces groupes des notes de *rapports de 3C* [A&B et C&D].

### B.1. LE SEXE

La taille N de notre échantillon étant égale à 20 ( $N < 30$ ), nous avons également utilisé, vu les valeurs des effectifs théoriques, le test logarithmique de SPITZ pour tester notre hypothèse. En effet, nous avons, après calcul,  $I = 0,70349132$ . Or la table de Khi-Deux nous donne, au seuil de  $p = 0,05$  avec le degré de liberté  $dl = 1$ , la valeur  $\chi^2_{1,0.05} = 3,841$ . On a ainsi  $I < \chi^2_{1,0.05}$ . Donc l'hypothèse  $H_0$  est confirmée. D'où, statistiquement, le sexe de l'élève n'influerait pas à 95 % de confiance sur les notes de *rapports de 3C*, et en conséquence sur les *rapports de 3C*.

### B.2. L'ÂGE

La taille N de notre échantillon étant égale à 20 ( $N < 30$ ), nous avons également utilisé, vu les valeurs des effectifs théoriques, le test logarithmique de SPITZ pour tester notre hypothèse. En effet, nous avons, après calcul,  $I = 0,28886608$ . Or la table de Khi-Deux nous donne, au seuil de  $p = 0,05$  avec le degré de liberté  $dl = 1$ , la valeur  $\chi^2_{1,0.05} = 3,841$ . On a ainsi  $I < \chi^2_{1,0.05}$ . Donc l'hypothèse  $H_0$  est confirmée. D'où, statistiquement, l'âge de l'élève n'influerait pas à 95 % de confiance sur les notes de *rapports de 3C*, et en conséquence sur les *rapports de 3C*.

De (b.1.) et (b.2.), nous constatons que statistiquement l'élève n'influerait pas, à 95 % de confiance, sur les *rapports de 3C*. Ce qui contredit notre hypothèse selon laquelle l'élève lui-même influerait sur les *rapports de 3C*.

## 5.3.3 CAS DE VARIABLE DIDACTIQUE

### C.1. LE DESSIN

Le tableau des contingences entre le dessin réaliste et le dessin non réaliste nous renseigne sur le nombre d'élèves ayant recouru ou non au théorème de Pythagore dans la résolution des problèmes y relatifs.

Comme l'échantillon est petit ( $N=20 < 30$ ), nous avons calculé la valeur de chi-deux par :

$$\chi^2 = \frac{(|9-0|-1)^2}{9+0} = 7,11$$

Le degré de liberté étant égal à 1, la table nous indique que pour un niveau de confiance de 99% le chi-deux est de 6,635. Ainsi, notre résultat  $\chi^2 = 7,11$  est supérieur à 6,635. D'où  $H_0$  rejetée, et nous tirons la conclusion que le dessin influerait sur le rapport au savoir des élèves. Ce qui confirme notre hypothèse de départ.

### C.2. LA SITUATION DU PROBLÈME

Le tableau des contingences entre la situation mathématique (**SM**) et la situation de vie (**SV**) nous renseigne sur le nombre d'élèves ayant recouru ou non au théorème de Pythagore dans la résolution des problèmes y relatifs.

Comme l'échantillon est petit ( $N=20 < 30$ ), nous avons calculé la valeur de chi-deux par  $\chi^2 = \frac{(|1-3|-1)^2}{1+3} = 0,25$ . Le degré de liberté étant égal à 1, la table nous indique que, pour un niveau de confiance de 99,9%, le chi-deux est de 10,827. Donc, notre résultat, qui est  $\chi^2 = 0,25$ , est inférieur à 10,827. D'où  $H_0$  acceptée, et nous tirons la conclusion que la situation du problème n'influerait pas sur le rapport au savoir des élèves. Ce qui contredit notre hypothèse de départ.

### C.3. LA MULTIPLICITÉ D'APPLICATION DU THÉORÈME DE PYTHAGORE

Le tableau des contingences entre l'application simple (**AS**) et l'application multiple (**AM**) du théorème de Pythagore nous renseigne sur le nombre d'élèves ayant recouru ou non au théorème de Pythagore dans la résolution des problèmes y relatifs.

Comme l'échantillon est petit ( $N=20 < 30$ ), nous allons calculer la valeur de chi-deux par  $\chi^2 = \frac{(|2-4|-1)^2}{2+4} \approx 0,167$ . Le degré de liberté étant égal à 1, la table nous indique que, pour un niveau de confiance de 99%, le chi-deux est de 6,635. Donc, notre résultat, qui est  $\chi^2 = 0,167$ , est inférieur à 6,635. D'où  $H_0$  acceptée, et nous tirons la conclusion que la multiplicité d'application du théorème de Pythagore n'influerait pas sur le rapport au savoir des élèves. Ce qui contredit notre hypothèse de départ.

#### C.4. L'ENSEMBLE DE RÉFÉRENCE DU PROBLÈME

Le tableau croisé entre les élèves (en ligne) et les ensembles de références (en colonne) nous permet de faire l'étude globale du facteur « *recours au théorème de Pythagore dans la résolution des problèmes* » en fonction du rang (= l'ensemble de référence considéré), en utilisant le test q de Cochran comme suit :

$$q = \frac{(K-1)[K \sum_{j=1}^K G_j^2 - (\sum_{j=1}^K G_j)^2]}{K \sum_{i=1}^N L_i - \sum_{i=1}^N L_i^2}$$

Où :

K = nombre des ensembles de références.

N = effectif des élèves.

$G_j$  = nombre de « recours au théorème de Pythagore dans la résolution des problèmes » (i.e. « 1 ») dans la  $j^{\text{ème}}$  colonne.

$L_i$  = nombre de « recours au théorème de Pythagore dans la résolution des problèmes » (i.e. « 1 ») dans la  $i^{\text{ème}}$  ligne.

En effet, K=3 et N=20. Ce qui nous permet de calculer la valeur de q ci-après :

$$q = \frac{2.[3.(2) - (2)^2] = 2.[7 - 5]}{3.(2) - 4} = \frac{2(1)}{2} = 10,5.$$

Le degré de liberté étant égal à  $dl = k - 1 = 2$ , la table de  $(\chi^2)$  chi-deux, nous indique que pour un niveau de confiance de 99%, le chi-deux est de 9,21. Ainsi, notre résultat  $q = 10,5$  est supérieur à 9,21. D'où  $H_0$  rejetée, et nous tirons la conclusion que l'ensemble de référence influencerait sur le rapport au savoir des élèves. Ce qui confirme notre hypothèse de départ.

## 6 CONCLUSION

Le concept du rapport au savoir est d'une grande actualité dans les recherches non seulement en sciences de l'éducation, mais également en sciences mathématiques et didactique, car il n'y a pas de savoir sans rapport au savoir. Le rapport au savoir peut, en outre, être pertinent et ainsi conduire à une intervention didactique par le biais d'une ingénierie didactique en vue de son évolution, de son amélioration auprès des élèves.

Notre étude sur le rapport au savoir des élèves au théorème de Pythagore dans une approche didactique nous a permis d'arriver aux considérations ci-après :

1. L'opérationnalisation du rapport au savoir des élèves au théorème de Pythagore est possible avec les *rapports de 3C* que nous avons identifiés, notamment : Rap1 (**rapport de connaissance**), Rap2 (**rapport de compréhension**) et Rap3 (**rapport de contextualisation**) ; étant donné que le recours des élèves au théorème de Pythagore lors de la résolution des problèmes s'est avéré significativement différent d'un des *rapports de 3C* à l'autre.
2. La détermination du niveau du rapport au savoir des élèves est possible sur base d'une échelle des niveaux, notamment cette échelle opérationnelle de trois niveaux que nous avons définie de la manière suivante: niveau « bas » (pour l'ignorance ou le développement d'un des *rapports de 3C* chez l'élève), niveau « moyen » (pour le développement d'exactly deux des *rapports de 3C* chez l'élève) et niveau « élevé » (pour le développement de tous les *rapports de 3C* chez l'élève). Par exemple, notre étude faite, dans une approche didactique, sur le rapport au savoir des élèves au théorème de Pythagore, dans les humanités scientifiques d'une école, nous a conduits au résultat ci-après : le niveau du rapport au savoir est majoritairement bas (13/20 soit 65 %).
3. La détermination des variables susceptibles d'influencer le rapport au savoir est possible avec l'usage des tests statistiques. D'où, le dessin et l'ensemble de référence de l'enseignement influeraient sur les *rapports de 3C* avec un niveau de confiance de 99 %, contrairement à la situation du problème et à la multiplicité d'application du théorème de Pythagore. Ces résultats peuvent être sujets de vérification sur un grand échantillon.

En réfléchissant sur les éventuelles causes de ce niveau bas du rapport au savoir des élèves au théorème de Pythagore dans le cas de notre exemple, nous avons pris pour hypothèse l'idée de Tonnelle (1979) selon laquelle c'est le discours ostensif plutôt que le discours officiel de l'enseignement qui détermine les décisions prises par les élèves. Nous admettons dans ce cas que le discours ostensif des enseignants serait différent du discours officiel, ceci pouvant être aussi probablement dû au niveau bas du rapport personnel de l'enseignant au théorème de Pythagore. Et ainsi, il s'avérerait justifier une intervention didactique à deux niveaux : d'une part auprès des enseignants et d'autre part auprès des élèves afin de faire évoluer le rapport personnel des uns et des autres au théorème en jeu.

Comme perspectives d'avenir, cette étude permet de continuer des recherches basées sur :

- J Une étude didactique du rapport au savoir en se basant sur les *rapports de 3C*, notamment le rapport de connaissance, celui de compréhension et celui de contextualisation.
- J Une contribution du rapport au savoir au processus d'ingénierie didactique en vue d'une intervention didactique appropriée devant faire évoluer le niveau dudit rapport.

Enfin, notre recommandation s'adresse en particulier aux enseignants et concerne la prise en charge de l'organisation des situations d'apprentissage tenant compte des *rapports de 3C* de manière à peu près équitable en vue de promouvoir auprès des élèves un meilleur niveau du rapport au savoir.

## REFERENCES

- [1] ASTOLFI, J.P. et DEVELAY, M. (1989) : " *La didactique des sciences* ", Que sais-je ? Paris, France : PUF.
- [2] BADETTY L. et Cie (2001): " *Maîtriser les Maths 4* ", Kinshasa, RDC : Editions Loyola.
- [3] BEILLEROT, J. (1989): " *Savoir et rapport au savoir* ", Paris, France : Ed. Universitaires.
- [4] BKOUCHE, R., CHARLOT, B. et ROUCHE, N. (1991) : " Le rapport au savoir ", in *Faire des mathématiques : le plaisir du sens*, Paris, France : Colin, 253 p. (p. 215-240). (11/1992.1044)
- [5] BKOUCHE, R. (2006) : " La géométrie entre mathématiques et sciences physiques. ", in Kourkoulos, M., Troulis, G., et Tzanakis, C. (dir) *Proceedings of 4th International colloquium on the Didactics of mathematics*, volume II, Université de Crète.
- [6] BOURDIEU, Passeron (1964) : " *Les Héritiers* ", Paris, France : Ed. Minuit.
- [7] CAILLOT, M. (2000) : " Rapport (s) au (x) savoir (s) et apprentissages de sciences ", Communications faite au Colloque 'rapport aux savoirs et didactiques des Sciences', Sfax, les 7, 8 et 9 avril.
- [8] CHANTAL, L., (2003) : " *Emergence et développement de l'esprit critique dans une classe d'élèves de 4è et 3è* ", Pierrefitte sur Seine, France : Collège PABLO NERUDA.
- [9] CHARLOT, B. (1999) : " *Le rapport au savoir en milieu populaire* ", Paris, France : Ed. Anthropos.
- [10] CHARLOT, B. (1997) : " *Du rapport au savoir, éléments pour une théorie* ", Paris, France : Ed. Anthropos.
- [11] CHARLOT, B. (1984) : " L'échec scolaire en mathématiques et le rapport social au savoir ", *Bulletin de l'APMEP*, Num. 342, p. 117-124, Paris, France.
- [12] CHARTRAIN, J.L. (1998): " *Différentiation scolaire et conceptions des élèves entre origine sociale et réussite sociale, la logique du sujet apprenant sur le savoir : cas du volcanisme au CM* ", Mémoire du DEA, Paris, France : Université René Descartes.
- [13] CHEVALLARD, Y. (1992): " Concepts fondamentaux de la didactique, perspectives apportés par une approche anthropologique ", *RDM*, Vol. 12, N°1, p. 73-112.
- [14] CHEVALLARD, Y. et JULIEN, M. (1991): " La géométrie et son enseignement comme problème, la notion de construction géométrique comme problème ", *Petit X N° 27*, France (Juin).
- [15] DELAMOTTE, E. (2002) : " Que produit l'école ? Réflexions sur la circulation des savoirs et leurs appropriations ", France : Université Charles de Gaulle, Lille 3, UMR CNRS CERSATES 8529.
- [16] DEVELAY, M. (1995a) : " *Savoirs scolaires et didactiques des sciences* ", Paris, France : ESF.
- [17] DEVELAY, M. (1995b) : " A propos des savoirs scolaires ", *VEI Enjeux*, N° 123, décembre.
- [18] DISASHI KABADI, I. (2012) : " *Le rapport au savoir des élèves congolais de 4ème année secondaire au théorème de Pythagore* », Mémoire de DEA présenté et soutenu publiquement à la chaire UNESCO en sciences de l'éducation, BRAZAVILLE, République du Congo : Université Marien Ngouabi.
- [19] DOUADY, R. : " Rapport Enseignement Apprentissage : dialectique outil-objet, jeux de Cadres ". Edition revue et augmentée, *Cahier de didactique des mathématiques*, IREM Université Paris VII, N° 3.
- [20] DOUADY, R. (1996) : " Ingénierie didactique et évolution du rapport au savoir en mathématiques Collège seconde", in IREM, *L'enseignement des mathématiques : des repères entre savoirs, programmes et pratiques*, Pont-à-Mousson, Topiques éd. , p. 241-256 (11/1999.1340).
- [21] GONSETH, F. (1946): « La géométrie et le problème de l'espace. Volume II. Les trois aspects de la géométrie ». Editions du Griffon,
- [22] HAYDER (1977): " Rapport au savoir et culture ", In *International Journal of Sciences Education*, n°2.
- [23] KAYEMBE & Cie (1996) : " *Maîtriser les Maths 3* ", éditions Loyola Kinshasa, RDC.
- [24] KELLER, O. (2001) : " *Préhistoire de la géométrie : le problème des sources* ", Réunion, Août. [www.irem.univ-reunion.fr/pdf/Keller\\_prehistoire\\_geometrie.pdf](http://www.irem.univ-reunion.fr/pdf/Keller_prehistoire_geometrie.pdf).

- [25] KUZNIAK, A. (2004) : " *Paradigmes et espaces de travail géométrique, Note pour habilitation à diriger des recherches* ", Paris, France : IREM de Paris 7.
- [26] LAMINE, B.A.M. (2000) : " Pertinence et limites de la notion de rapport au savoir en didactiques des sciences ", In A. Chabchoub (éd.) *Rapports aux savoirs et apprentissage des sciences, Actes du 5ème colloque d'épistémologie des sciences*, Sfax, pp. 187-194.
- [27] LOMBARD, P. (2003) : « Peut-on envisager une transposition didactique des mathématiques qui les rende accessibles au plus grand nombre ? » (IREM de LORRAINE). LORRAINE). [www.irem.univ-lorraine.fr/Lomb/sens.pdf](http://www.irem.univ-lorraine.fr/Lomb/sens.pdf).
- [28] MAGEN, A. (2001): " Ombres et lumières sur les erreurs en Algèbre et en Géométrie au Collège (et ailleurs) .Le projecteur rhétorique", *Repères*, IREM des Antilles et de la GUYANE, N° 45, Octobre.
- [29] MOSCONI N., BEILLEROT, J. et BLANCHARD-LAVILLE, C. (2000) (dir) : "*Formes et formations du rapport au savoir* ", Paris, France : L'Harmattan, (11/2000-1458).
- [30] PERRIN-GLORIAN, M.-J. (2004) : " Eclairages et questions pour la didactique des mathématiques : cadres et registres en jeu dans la résolution des problèmes en lien avec les connaissances des élèves et recherches sur l'action des enseignants en classe.", *Annales de didactique et des sciences cognitives*, volume 9, p. 67-82, IREM de Strasbourg, France.
- [31] PLUVINAGE, F. (2004): " Sur les méthodes et les résultats de la didactique des mathématiques ". *Annales de didactique et des sciences cognitives*, vol. 9, p. 7 - 43, IREM de Strasbourg, France.
- [32] TONNELLE, J. (1979) : « Le monde clos de la factorisation au premier cycle. », Mémoire de DEA de didactique des mathématiques, Université d'Aix-Marseille II, France : Université de Bordeaux I.
- [33] VANTURINI-Lemme, P. et Albe-ENFA, V. (2002): " Interprétation des similitudes et des différences dans la maîtrise d'étudiants en électro-magnétisme à partir de leur (s) rapport (s) au (x) savoir (s) ", *Aster*, 35, pp. 165-188, Université P. Sabatier, Toulouse, France.

## PRINCIPE CARTOGRAPHIQUE DE LA DETECTION DES INSTALLATIONS CACHEES PAR LA METHODE DE BLUE STAKE DANS LA CONCESSION MINIERE DE TENKE FUNGURUME AU KATANGA EN REPUBLIQUE DEMOCRATIQUE DU CONGO

### [ CARTOGRAPHIC PRINCIPLE OF THE DETECTION OF BLUE STAKE HIDDEN INSTALLATIONS IN THE TENKE FUNGURUME MINING CANCER IN KATANGA IN THE DEMOCRATIC REPUBLIC OF THE CONGO ]

*K.B. Lulali<sup>1</sup>, K. Viascear<sup>2</sup>, K. Wanduma<sup>3</sup>, and L. KIPATA<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Faculté des Sciences, Département de Géologie, Université de Kolwezi, à Lubumbashi, RD Congo

<sup>2</sup>Tenke Fungurume Mining, Engineering Department, Lubumbashi, RD Congo

<sup>3</sup>Faculté des Sciences, Sciences de l'Environnement, Université Libre de Bruxelles, Campus de la Plaine, CP201/01, Boulevard du Triomphe 50, 1050 Bruxelles, Belgium

<sup>4</sup>Faculté des Sciences, Département de Géologie, Université de Lubumbashi, BP 1825, Lubumbashi, RD Congo

---

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The location, location and mapping of hidden facilities make it possible to avoid the risks of accidents and other nuisances that can cause material and human damage during the various phases of planning and construction of a project. Hence it is important to identify these to solve several problems on a given site. Damaging these buried utilities during construction work, urbanization continues to be one of the major risks for different industries. Currently, it is important to update information on hidden utilities that will serve several scientific disciplines during field work and for successful projects involving excavation, well drilling, exploration drilling, leveling And construction in the field of civil engineering. Bluestake (picketing and marking) processes identify and locate the various hidden utilities such as underground piping, ducting and cable systems, sewers and other installations that can emit a frequency that can be detected during field prospecting . Accordingly, the Blue stake processes are based on the geophysical prospecting method, see the electromagnetic approach using an apparatus consisting of a transmitter, a receiver, electrodes, the ground rod and the electromagnetic field clamp which Of the searched utility sends a detectable frequency and then locates it for mapping.

**KEYWORDS:** Cartography, Hidden Installations, Blue Stake process, mines, Tenke Fungurume, Katanga, RD Congo.

**RESUME:** La localisation, le repérage et la cartographie des installations cachées permettent d'éviter les risques d'accidents et autres nuisances pouvant entraîner des dégâts matériels et humains lors des différentes phases de planification et de construction d'un projet. D'où il est important d'identifier ces derniers pour apporter la solution à plusieurs problèmes sur un site donnée. Endommager ces utilitaires enfouis lors des travaux de construction, urbanisation continue d'être un des principaux risques majeurs pour différents industries. Actuellement, il est important de mettre à jour les informations concernant les utilitaires cachés qui devra servir plusieurs disciplines scientifiques lors des travaux sur terrain et pour la réussite des projets reposant sur les travaux d'excavation, forage des puits, sondage d'exploration, nivellement et construction dans le domaine de génie civil. Les procédés de *Bluestake (piquetage-marquage)* permettent d'identifier et localiser les différents utilitaires cachés tels les réseaux de tuyaux, conduits et câbles souterrains, les égouts et autres installations pouvant émettre



### 3 PROBLEMATIQUE

La République démocratique du Congo, dispose de plusieurs services publics et sociétés œuvrant dans différents domaines tels les réseaux hydroélectriques, les réseaux de canalisation et assainissement d'eaux, les services d'urbanisations et autres domaines de génie civil tel que la construction des réseaux routiers, barrage, le terrassement, pond et chaussé puis autres travaux dans domaines géologiques tels que les forage et puits de prospection, sondage géo mécanique...

De ce qui suit, plusieurs services publics de l'État Congolais ne dispose d'informations fiables et des cartes détaillées en ce qui concerne les installations souterraines cachées dans différents secteurs où les travaux et différents chantiers évoluent; d'où il y a risque d'accidents pouvant endommager les équipements, les personnels ainsi que le milieu environnement si ces différentes installations telles que les câbles électriques, les canalisation de tuyauteries pour la desserte en eau, les installations de la télécommunication et différents cavités sur site ne sont pas bien localiser, cartographier, identifier et marquer avant d'effectuer les différents types des travaux sur un site donnée.

### 4 OBJECTIF

L'objectif est d'identifier, rechercher et marquer les utilitaires rencontrer puis informer et prévenir les risques de blessures et différents types d'accidents pouvant endommager l'environnement, l'écosystème, ou porter atteinte à la vie humaine ou entrainer de dommages matériels lors des travaux d'excavation et pénétration dans les bâtiments et surfaces du sol. De ce fait, nous établissons des cartes permettant de représenter, schématiser et repérer les différentes installations enfouies et dont nous ne possédons au paravent aucune information. Ainsi nous devons conserver les schémas, les cartes, concernent les utilitaires enterrés ou cachés, et faire leur mise à jour des schémas en cas de disponibilité de nouvelles informations

### 5 PRINCIPE ET REGLEMENTATION DE LA METHODE BLUE STAKE (PIQUETAGE-MARQUAGE)

Cette procédure est appliquée lorsque nous devons pénétrer une surface de plus de 2,5Cm, excaver, forer, niveler, creuser. Lors des différentes inspections des travaux sur terrain nous devons prospecter minutieusement la zone de travail concernée en identifiant, et en marquant les différentes installations localisées au moyen d'une peinture de couleur appropriée, un drapelet, un piquet, ou autre forme de marquage tel que la chaux, le ciment ou le ruban. Ainsi les installations localisées ou détectées sont codifiées par les couleurs suivantes : Rouge: Électrique, Jaune : Gaz, hydrocarbures, Orange : Câble de communication, Bleu : Système d'eaux, Vert : Systèmes d'égouts sanitaires, drains, égouts, tuyauterie de pulpe, Violet : Eaux de procédé de l'extraction par solvant ou de l'électrolyse, Blanc : Système d'aération.

Toute inspection sur terrain avant le début des différents travaux tels que le forage, la préparation des plates-formes des sondages, excavation, nivellement et autres travaux de génie civil doit être fait au moins 48 heures ou plus avant ; afin de permettre une bonne identification et élaboration des cartes détaillées pouvant permettre la localisation des installations cachées sur un site donné.

### 6 TECHNIQUE ET METHODOLOGIE DE DETECTION DES RESEAUX ENTERRES

#### 6.1 DÉTECTION PAR DES TECHNIQUES DESTRUCTIVES

Nous entendons par technique destructive, toute méthode de sondage qui repose sur un terrassement mécanique et/ou manuel, dans le but de chercher les ouvrages à ne pas accrocher lors des travaux à proximité, tout en maintenant leur fonctionnement [1].

Il existe deux types de techniques de fouille :

- a) Mécaniques : généralement déployées lors des premières dizaines de centimètres où nous avons la certitude de l'inexistence du risque d'endommagement de l'ouvrage.
- b) Douces : utilisées à l'approche de l'ouvrage sur les dernières dizaines de centimètres de fouille. Elles sont souvent établies à la main, ou à l'aide d'un camion aspirateur.

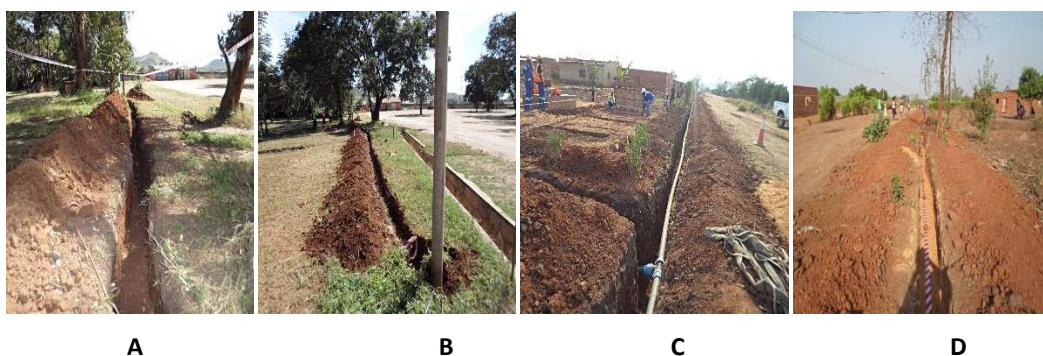
Lors des travaux de terrassement, il faut adapter les techniques de fouille selon la nature du sol et des profondeurs renseignées par l'exploitant de réseaux. Il arrive parfois que le tracé d'un réseau ne corresponde pas vraiment à la réalité du terrain, comme par exemple lorsque nous constatons qu'un ouvrage passe au bord d'un arbre car nous savons au préalable que cela n'est pas possible. En effet, le règlement de la voirie prévoit un rayon de 2m à partir du centre de l'arbre, où aucun

réseau ne doit passer. Dans ce cas, il faut commencer par un terrassement à la pelle mécanique jusqu'à une certaine profondeur (45cm par exemple), ensuite il faut continuer à creuser avec des techniques douces.

L'objectif de l'utilisation des techniques intrusives est de mettre à nu tous les réseaux qui rentrent dans la zone de travaux afin d'avoir une visibilité sur la position de l'ouvrage et connaître aussi précisément son matériau de construction, son diamètre extérieur, son revêtement de protection, et ses caractéristiques géométriques. Nous pouvons aussi constater les points singuliers comme les changements de direction et de pente ainsi que les organes de coupure et leurs accès [2].

#### Selon la méthodologie dans cette procédure de Blue stake (Piquetage - Marquage)

Tous les nouveaux matériels souterrains doivent avoir un fil de démarcation ainsi que des rubans de sécurité appropriés enterrés avec la ligne du matériel lors de l'installation. Ainsi, les lignes de gaz, de communication, de plomberie ainsi que les fibres optiques, les installations électriques tels que les câbles de basse tension devront être enterrés dans le sol à une profondeur de 70cm puis recouvert d'une couche de sable lavé, ou autre matière fine approuvée au moins de 30cm au-dessus de l'utilitaire pose puis d'un ruban de sécurité approprié avec une indication. Quant au câble électrique de moyenne et haute tension, ces derniers doivent être placés à une profondeur allant de 1,20m à 1,50m recouvert d'un béton teint en rouge et un ruban d'indication situé à 15cm ou 20cm au-dessus de béton puis placé au niveau de sol à l'œil nu, une plaquette marquée d'un signe de danger visible.



**Photos 1 : (A-B) : Excavation pour installer le câble électrique basse tension (Fungurume, 2015)**

**Photos 2 : (C-D) : Excavation pour installer le tuyau d'eau (Quartier Kabila, Fungurume, 2016)**

## **7 DÉTECTION PAR DES TECHNIQUES NON DESTRUCTIVES**

Actuellement, il n'existe pas de méthode non-destructive qui garantit à 100% la détection de tous les types des ouvrages, c'est pourquoi il faut étudier les différentes techniques et les adapter aux autres types des réseaux et aux conditions environnementales de la zone de projet.

### **Principe**

Cette technique non-destructive repose sur la détection des ondes électromagnétiques qui se diffusent dans un réseau conducteur de courant. Ce dernier peut être un réseau d'électricité ou de téléphone, mais aussi une canalisation dont le matériau de construction permet le transport du courant. C'est le cas des ouvrages d'eau, d'assainissement ou de gaz qui sont en cuivre, en plomb ou en acier. Par ailleurs, certains réseaux ne sont pas conducteurs de nature, mais ils sont parfois posés avec des câbles conducteurs de courant de type Plynox (câble ou fil traceur) qui permettent la détection. C'est le cas de certains réseaux de fibre optique. Trois méthodes de détection électromagnétique sont utilisées selon la nature des réseaux à détecter, la possibilité d'accès au réseau, la présence ou non d'affleurant et la finalité de la détection (évitement des endommagements ou fourniture de la cartographie des réseaux : la suite sera détaillée dans le Principe et utilisation du matériel de détection qui sera vue ci bas).

## 8 ASPECT GEOPHYSIQUE DE LA METHODE DE BLUE STAKE (PIQUETAGE-MARQUAGE)

### 8.1 LA PROSPECTION MAGNETIQUE

La prospection par champs électromagnétiques (EM) artificiels ou naturels, générés par des courants variables dans le temps, porte le nom de prospection électromagnétique [3] [4] [5]. Notons que les techniques électromagnétiques sont intéressantes, même quand il s'agit d'une reconnaissance rapide, d'une «détection» sommaire ou de la simple découverte de zones d'anomalies, l'interprétation quantitative en plusieurs dimensions (2D, 3D) peut devenir très compliquée et ; est loin d'être « intuitive ». Elles ont d'autre part un vice rédhibitoire : leur profondeur d'investigation est limitée, d'autant plus limitée que la fréquence du champ électromagnétique est plus élevée. Les appareils de prospection électromagnétique répondent à une grande variété de conducteurs tant naturels qu'artificiels, tels que les conducteurs dans la roche en place : (graphite, sulfure massifs, zones de cisaillement), les conducteurs artificiels : (lignes électriques, pipes lines, réservoir et conduites métalliques, voie ferrée...)

### 8.2 LA NOTION SUR LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE

La conductivité électrique est l'aptitude d'un matériau ou d'une solution à laisser les charges électriques se déplacer librement, donc à permettre le passage d'un courant électrique. Principe physique : La conductivité électrique est l'inverse de la résistivité. Elle correspond à la conductance d'une portion de matériau de 1m de longueur et de 1m<sup>2</sup> de section.

Parmi les meilleurs conducteurs, il y a :

- les métaux (comme l'argent, le cuivre, l'or ou l'aluminium) pour lesquels les porteurs de charge sont les « électrons libres ».
- les solutions d'électrolytes (ayant des ions en solution). Pour ces dernières, la valeur de la conductivité dépend de la nature des ions présents dans la solution et de leurs concentrations. La conductivité d'une solution peut être mesurée à l'aide d'un conductimètre.

Certains matériaux, comme les semi-conducteurs, ont une conductivité qui dépend d'autres conditions physiques, comme la température ou l'exposition à la lumière, etc. Ces propriétés sont de plus en plus mises à profit pour réaliser des capteurs

### 8.3 LA NOTION D'INDUCTION ELECTROMAGNETIQUE

En régime variable, champ électrique et champ magnétique sont étroitement liés, et même littéralement indissociables. C'est de là d'ailleurs que vient le nom d'électromagnétisme. Un champ magnétique variable engendre un champ électrique : en cela consiste l'induction électromagnétique de Faraday. Dans un conducteur, un champ électrique crée un courant, lequel crée un champ magnétique, c'est la loi d'Ampère.

La méthode de prospection EM fait intervenir simultanément trois processus physiques distincts à savoir :

1. le premier consiste en la production d'un champ magnétique primaire qui varie avec le temps;
2. le second est la naissance de courants induits (courants de Foucault) dans tous les conducteurs sur lesquels agit ce champ primaire;
3. le dernier est la détection de ces conducteurs par la mesure des champs magnétiques secondaires créés par les courants de Foucault.

L'amplitude des courants induits dans un corps conducteur dépend de plusieurs facteurs, à peu près équivalents, qui sont: les propriétés électriques du conducteur; les dimensions et la forme du conducteur; la fréquence du champ primaire; l'emplacement du conducteur par rapport aux instruments géophysiques

En ce qui concerne la méthode de Blue stake (piquetage-marquage) , les détecteurs utilisés appliquent les principes et méthodes de la prospection géophysique reposant sur la localisation de champ électromagnétique induit sur différents utilitaires recherchés sur terrain. Les différentes fréquences émises par les utilitaires sont captées (détectées) à l'aide d'un émetteur et un récepteur. A l'aide d'un GPS, les données sont récoltées puis seront ensuite traitées pour obtenir une carte représentant différentes anomalies des conducteurs enfouis dans le sol et dont nous ne disposons aucune information dans un secteur donné.

9 MATERIELS UTILISES DANS LA METHODE BLUE STAK (PIQUETAGE-MARQUAGE)

9.1 LE VLOCPR02

Est un détecteur de courant électromagnétique compose d'un émetteur et un récepteur. Ce dernier agit comme un générateur de courant dont la puissance et la fréquence sont modulables, Un écran de contrôle indique les différentes variables qui sont répertoriées dans le tableau ci-dessous.

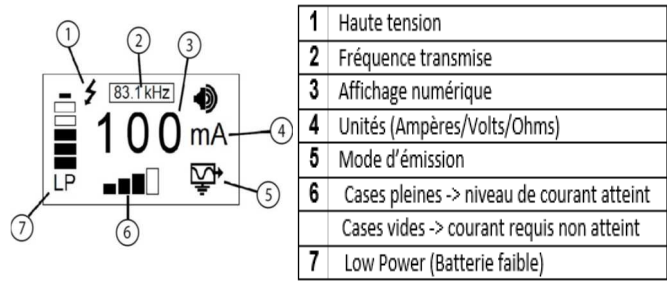


Figure 2: Présentation de l'écran d'affichage de l'émetteur



Photo 3: Vue de l'Émetteur du VlocPro2, pose au sol lors des travaux de prospection sur terrain

9.2 PRESENTATION ET DESCRIPTION DE RECEPTEUR

Le récepteur se présente comme ci-dessous. Le tube est en fibre de carbone ce qui le rend résistant et léger. Sur le schéma on peut voir les différentes informations fournies par l'écran principal :

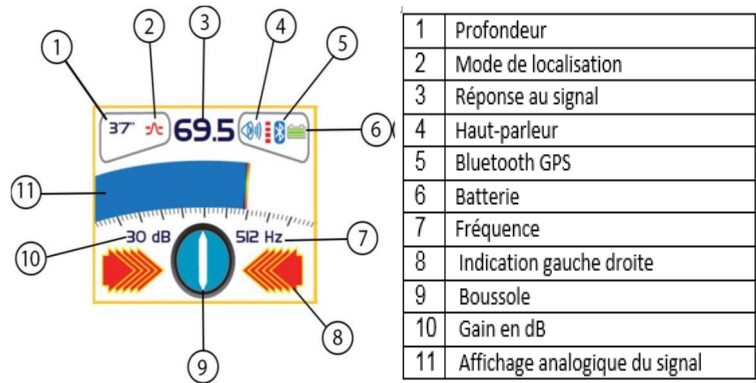


Figure 3 : Présentation de l'écran et affichage de récepteur



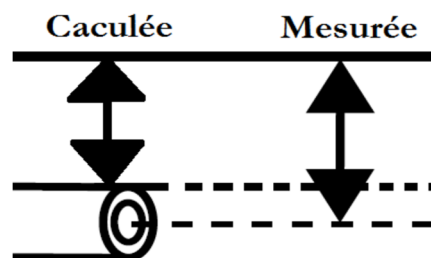
**Photo 4: Vue de récepteur de VlocPro2, pose au sol lors des travaux de prospection sur terrain**

La boussole indique la direction des utilitaires recherches (soient les câble ou tuyaux galvanisés) ; la couleur passe au bleu quand la direction est parallèle à celui-ci. Les flèches aident à se diriger vers celui-ci tandis que la jauge donne un maximum (ou un minimum en fonction du mode utilisé) à l'aplomb de l'utilitaire retrouvé. De même, la fréquence détectée ainsi qu'un aperçu de la profondeur (à 10 cm près) sont indiquées. Il suffit d'appuyer sur la touche « i » pour avoir la profondeur au centimètre près (au niveau de l'affichage, on ne parle pas ici de précision) et l'intensité du signal en Ampère. Après avoir branché l'émetteur au réseau selon les différents cas qui seront vue ci bas, la mesure sur le terrain se fait de la manière suivante:

- Localiser brièvement les utilitaires en effectuant un balayage de droite à gauche en maintenant le détecteur perpendiculaire au sol,
- Orienter le récepteur à l'aide de la boussole (voyant bleu lorsque l'on est dans l'axe),
- Vérifier la direction des utilitaires en tournant le récepteur à 90 degrés, le signal doit alors être minimum car on est orienté perpendiculairement,
- Une fois la position et la direction établie, il faut poser la base du détecteur au sol et appuyer sur

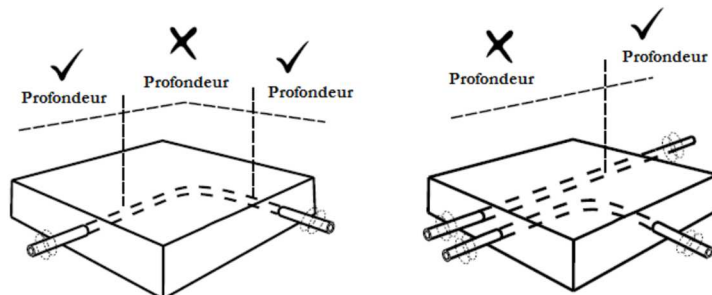
« i » pour afficher (« + » pour enregistrer) le courant et la profondeur. Le détecteur possède une mémoire interne permettant d'effectuer les enregistrements.

À noter que la profondeur mesurée est la distance de la base du récepteur (au niveau du sol) à l'axe de la canalisation soit du câble ou de tuyau. Ainsi pour les réseaux dont le diamètre est non négligeable, il faudra retrancher la longueur du rayon pour avoir la profondeur exacte de la génératrice supérieure du réseau. Attention, dans certains cas, le diamètre fournit est le diamètre nominal, qui diffère du diamètre extérieur pour certaines canalisations (en acier par exemple). Il faut toujours utiliser le diamètre extérieur pour calculer la profondeur exacte.



**Figure 4: schéma illustrant la profondeur calculée et mesurée, source : (VlocPro2 use manual)**

Une attention particulière est à apporter lors de la localisation dans des zones avec des coudes ou des raccords perpendiculaires car les mesures de profondeur peuvent être imprécises à cause de la distorsion des champs électromagnétiques. Cette contrainte est très importante et nous oblige à toujours être vigilants et à porter un œil critique sur les résultats obtenus.



**Figure 5: Schéma illustrant les zones influant sur la qualité de la mesure de profondeur,**  
Source : (VlocPro2 use manual)

### 9.3 LE SEBAKMT5000 : LE DETECTEUR PAR IMPULSION ACOUSTIQUE VIBRATOIRE

Contrairement à la détection électromagnétique, la détection par méthode acoustique est une autre technique non-destructive qui sert à détecter généralement les réseaux non métalliques. Elle est actuellement l'une des méthodes les plus pertinentes pour repérer les ouvrages et branchements en plastique. Cette technique de détection repose sur l'injection de pulsations par le générateur, avant que celles-ci soient captées par un récepteur au niveau du sol. Il existe deux méthodes d'injection du signal:

- Injection de pulsations sur la canalisation : fixée sur l'aplomb de l'ouvrage par une bride, le générateur envoie des vibrations qui sont reçues par un accéléromètre. Cette méthode est fréquemment utilisée pour les conduites d'eau. Elle a l'avantage de ne pas susciter la coupure du service au client.
- Injection de pulsations sur le fluide contenu dans la canalisation: compliquée pour la mise en œuvre, cette méthode suscite souvent la présence d'un représentant du concessionnaire du réseau, ainsi que la coupure du service, assuré par l'ouvrage aux clients, car un accès direct au fluide est nécessaire. Nous pouvons parfois éviter l'interruption du service par un raccordement sur la prise « pression » dans le coffret.

Assurant une détection des réseaux enterrés à 20 cm et adaptée généralement aux canalisations non conductrices, cette méthode de détection contient plusieurs inconvénients : -Non indication de la profondeur de détection : elle s'avère de ce fait inadaptée à la cartographie des réseaux enterrés ; Inefficacité de détection en présence d'un terrain végétal ou sous un trottoir en béton (terrain non correctement compacté) ; bruitage du signal en présence d'une circulation dense à proximité, d'un fourreau ou d'autres obstacles au-dessus ou à proximité ; difficulté à localiser les branchements de petite longueur ; risque d'endommagement de certaines canalisations par les pulsations injectées.

De par ces inconvénients, cette méthode est de plus en plus abandonnée et remplacée par des techniques de détection électromagnétique et de géoradar. Ci-après un exemple de détecteur acoustique [1]

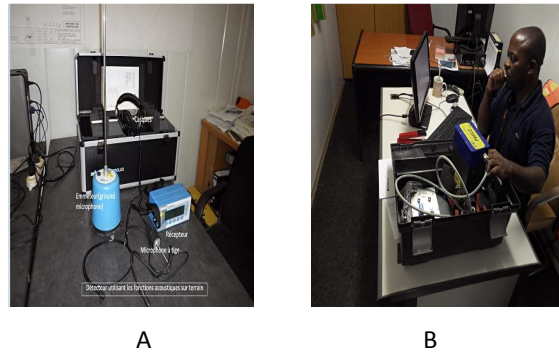


A



B

**Photo 6 : (A-B) : Prospection par la méthode acoustique (Village Mitumba : Lualaba /Rd. Congo 2015)**



**Photo 7 (A-B):Présentation générale de l'Appareil Hydrolux 5000 H2 localisation des fuites d'eau par méthode acoustique et son générateur d'onde ou pulsation : PWG/2 -FAST (B)**

## 10 EXPERIMENTATION ET TRAVAUX SUR TERRAIN

Dans cette étude nous utilisons le détecteur VIVAX METROTECH série vLocPro2 équipé d'un transmetteur (émetteur), récepteur, pince à champ électromagnétique (clamp), tige de terre, des câbles et d'un GPS. Notons que le récepteur dispose d'une boussole servant de guide, indication et orientation. L'émetteur produit un champ électromagnétique qui est enregistré puis capté par le récepteur sous formes des différentes fréquences d'investigations lors des travaux de prospection soit en maille large et serrée sur site. Ces fréquences peuvent être changées en fonction du conducteur localisé sur terrain.

Le détecteur série VLocPro2 est unité disposant les fonctions de radiodétection (radar) à plusieurs fréquences de recherche. Il existe deux modes de détection du signal des installations recherchées:

- a) Le mode passif ou puissance: seul le récepteur est utilisé et permet une localisation simple et rapide de la plupart des réseaux enterrés. Ce mode est efficace en maille large lors de la reconnaissance générale des différents conducteurs sur terrain ayant une grande superficie. Ici le réseau lui-même émet une onde dont la fréquence est connue, c'est le cas de quelques réseaux électriques ; le détecteur reçoit cette fréquence et permet le repérage des utilitaires induit par cette fréquence (photo 8). Notons que le mode passif est subdivisé en :
  - Mode 50Hz : qui capte les signaux à 50Hz proviennent des câbles électriques sous-tension et en charge ainsi que sur les réseaux métalliques induits par ces câbles.
  - Mode Radio : qui capte les signaux radio détectables proviennent d'émetteurs de haute puissance. Les signaux radio permettront de localiser la plupart des réseaux conducteurs de plus de 50 mètres linéaires et des câbles de télécommunication en fouis et autres fils de terre pour la protection des équipements sensibles contre la foudre.
  - Le mode Signal de la Protection Cathodique (CSP) : Permet au récepteur de localiser la fréquence 100Hz générée par un générateur de courant de protection cathodique.



**Photo 8 : Prospection en maille large/ Kwatebala Plant February 2014**

- b) Le Mode actif ou la détection active : ce mode est utilisé lorsque le champ magnétique est trop faible. On fait circuler un courant d'une fréquence donnée dans la conduite ou le câble métallique qui se transforme en une antenne, ainsi à partir

de la surface on suit la direction grâce à une boussole indicatrice localisée sur le récepteur du détecteur. On utilise simultanément le récepteur et son émetteur qui permet de générer une fréquence sur les utilitaires recherchés en vue de localiser et identifier ces derniers avec beaucoup plus de précision puis obtenir les informations sur la profondeur des utilitaires que nous recherchons. Notons que ce mode est utilisé en maille réduite en plus les conducteurs recherchés doivent être visible pour permettre de brancher les différents accessoires du détecteur sur terrain. Ainsi, cette technique est déployé avec l'utilisation d'un émetteur de courant dont la fréquence du signal émis doit être la même que celle du récepteur.

Ce mode dispose de plusieurs disponibilités de détection sur terrain à savoir :

- Le mode de transmission indirect ou par induction (Photo 9) : ce mode est utilisé lorsque le contact, avec le réseau conducteur à détecter, n'est pas possible pour établir un branchement direct. Pour établir la transmission, nous positionnons l'émetteur sur la surface du sol à l'aplomb de l'ouvrage, afin qu'il puisse y induire une fréquence de positionnement. Par ailleurs, la mise en place de l'émetteur est effectuée à la verticale du réseau à tracer ou à géo référencer, en se référant aux plans issus de la réponse à la aux utilitaires visibles sur le terrain. Néanmoins, cette méthode possède des limites techniques telles que le risque de confusion lors de la transmission du signal qui est diffusé sur les réseaux conducteurs proches de l'ouvrage détecté. Cela peut influencer considérablement la précision des mesures planimétriques, et celle de la profondeur. Ainsi, ce mode est utilisé parfois pour effectuer le tracé des réseaux conducteurs souterrains du fait de sa rapidité d'exécution de la non-nécessité de branchement l'émetteur sur le réseau. Néanmoins, il est formellement déconseillé de s'en servir pour des prestations de géo référencement, car il est le mode de transmission le moins précis.



***Photo 9 : Prospection en mode Indirect/ Induction : Base camp Avril 2016, (Lualaba RD.Congo)***

- Raccordement en mode direct (Photo 10) : ce mode est utilisé lorsque nous avons la possibilité d'accès à une partie conductrice et non protégée par une isolation du réseau, nous y branchons l'émetteur avec des pinces aux électrodes qui lui sont reliées par des cordons et des câbles connecteurs. on relie le premier câble au conducteur recherché puis le second à un point de terre avec une tige enfoncée dans le sol. Ainsi, l'émetteur fourni de l'énergie électrique à la ligne ou réseau recherché. L'émetteur et le récepteur doivent être réglés sur les mêmes fréquences lors des recherches sur terrain, et à l'aide de la boussole nous pouvons suivre l'orientation précise de l'utilitaire recherché. Ici les fréquences que nous avons utilisées une fréquence entre, 8kHz, et 512Hz. Notons que les mesures de sécurités sont très stricte, ne pas brancher les équipements sans l'autorisation de ceux qui gèrent le réseau recherche' ou sur un câble de plus de 35V, Sa combinaison avec une grande puissance et une faible fréquence contribue de manière significative à la réalisation de plus grandes distances de détection électromagnétique. En outre, l'émetteur est protégé des courants parasites autour de lui. Ce qui permet d'obtenir les meilleurs résultats, même en présence d'une importante zone souterraine dense en réseaux enterrés.



**Photo 10: Prospection en mode Actif-direct/ Kolwezi TFM-guest-House, March 2014**

- La Pince à champ Magnétique (mode Clamp) ; (photo 11) : La pince à champ magnétique permet d'injecter le signal du transmetteur sur l'utilitaire en service. Ce signal est capté par le récepteur, suite à la boussole l'orientation de l'utilitaire recherché sera plus facile à tracer. Notons que la pince doit être bien enfermée autour de l'utilitaire recherché. Notons ici que l'utilitaire recherche est visible et accessible pour placer la pince avec une fréquence spécifique comprise entre 8kHz et 200Hz. Par ailleurs, l'émetteur de courant ne permet la sélection que d'une fréquence adaptée à la pince. Ne suscitant aucune liaison avec la terre et particulièrement pratique pour détection des réseaux d'énergie, ce mode réduit considérablement les risques de confusion entre les réseaux conducteur trop proches. Ainsi, il permet une détection plus précise que celle qui est garantie par le mode de transmission par induction.



**Photo 11: Prospection en mode Actif direct : La Pince à champ Magnétique (Clamp)  
Base camp / Fungurume, April 2014**

## 11 RESULTATS DES RECHERCHES SUR TERRAIN

Dans ce paragraphe, nous allons présenter quelques travaux de prospection sur terrain en mode inductive et passive lors de localisation d'une canalisation de tuyau d'eau et câbles électriques enfoui sous terre. Notons qu'il y a plusieurs cas mais nous allons illustrer quelques exemples plus général.

### 11.1 CAS D'UN TUYAU DE CANALISATION GALVANISEE

#### Travail en mode actif :

Ces données (a et b) ont été prises en utilisant la pince à champ électromagnétique (mode Clamp)

- L'émetteur est réglé à une fréquence de 32,8kHz, en injectant le courant de 100mA dans le sol
- L'émetteur est réglé à une fréquence de 65,5kHz, en injectant le courant de 100mA dans le sol
- L'émetteur et son récepteur sont réglés à une même fréquence

| Exemple | Mode                                         | Fréquence (kHz) | Résistivité ( $\Omega m$ ) |
|---------|----------------------------------------------|-----------------|----------------------------|
| a       | Actif /raccordement direct                   | 32.8            | 100                        |
| b       | Actif/ raccordement direct                   | 65.5            | 10                         |
| c       | Actif/ induit : Indirect : sans raccordement | 32.8kHz         |                            |

a) L'émetteur est réglé à une fréquence de 32,8kHz

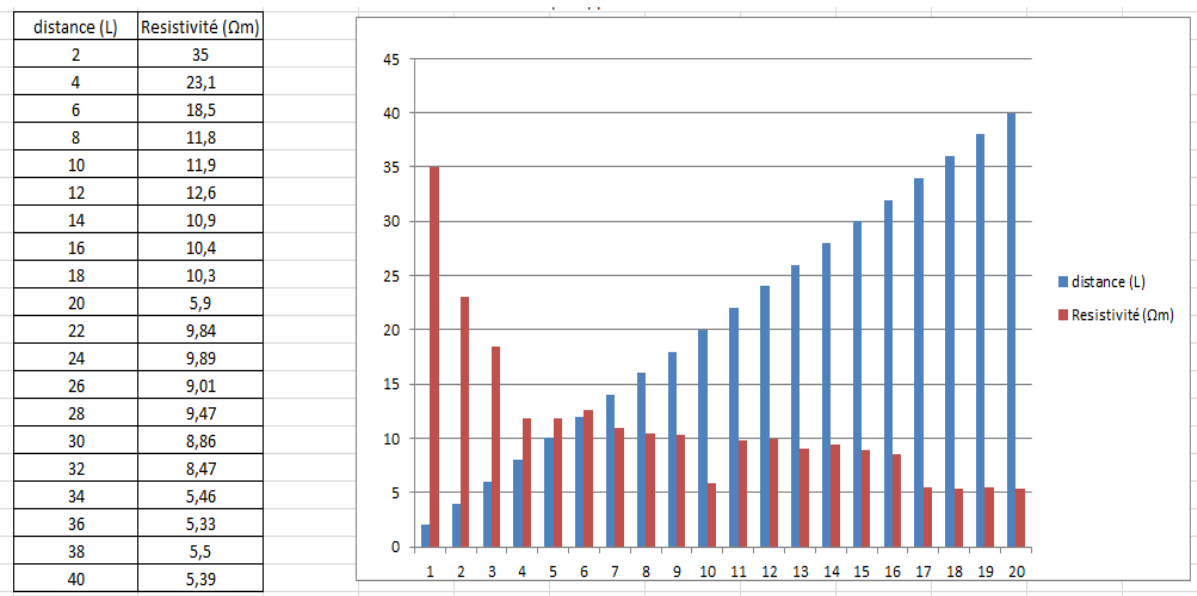


Figure 6: histogramme de résistivité enregistrée par le récepteur par rapport à la distance parcourue

b) L'émetteur est réglé à une fréquence de 65,5kHz

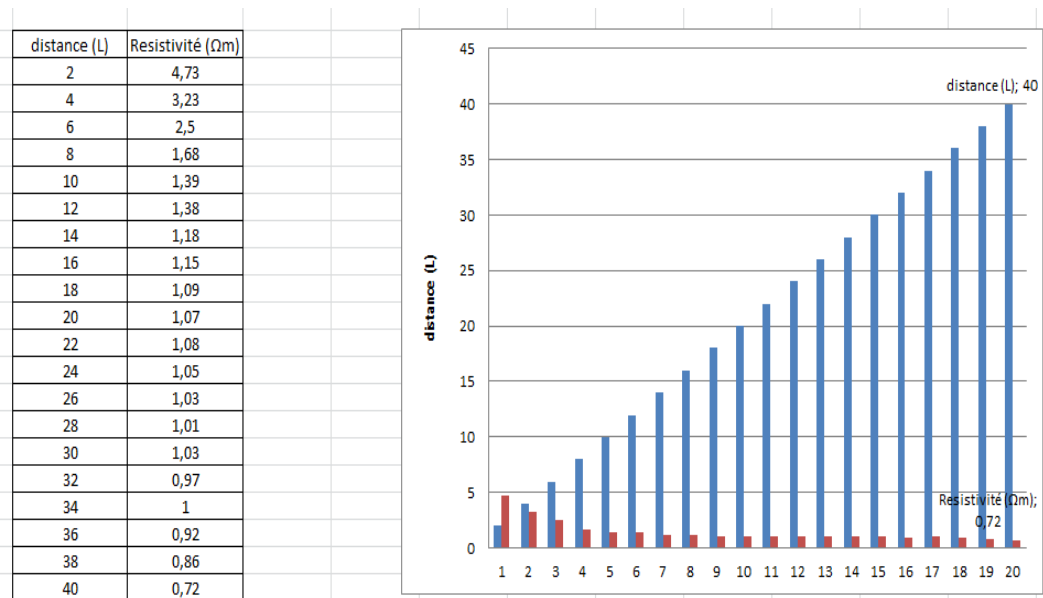


Figure 7: histogramme de résistivité enregistrée par le récepteur par rapport à la distance parcourue

### c) Travail en mode actif induit : sans raccordement direct

Lors des travaux sur terrain, le récepteur et son émetteur sont réglés en une même fréquence ; exemple celle de 32kHz, notons que dans ce mode l'émetteur n'est pas relié à l'utilitaire recherché par une quelconque connexion. L'émetteur génère un champ électromagnétique induit qui se traduit sous forme des ondes qui enrôlent l'utilitaire recherché ; le récepteur capte ces ondes qui s'affichent sur l'écran sous forme d'énergie électrique en milli ampère. Grâce à la boussole nous pouvons suivre la direction d'une canalisation ou de différents utilitaires recherchés.

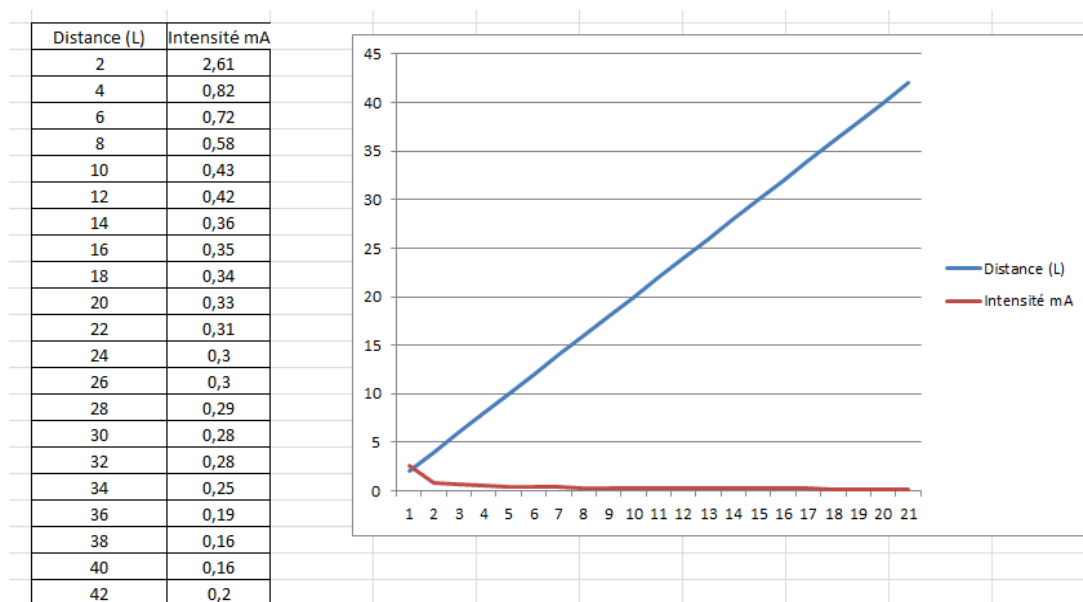


Figure 8 : Courbe représentant la distance parcourue (m) par rapport à l'intensité Enregistrée (mA)

### 11.2 CAS D'UN CABLE ELECTRIQUE

Dans ce cas, nous avons paramétrés le récepteur et l'émetteur à une fréquence de 32kHz lors des travaux de reconnaissance sur terrain, c'est-à-dire en mode actif induit. Pour raison de sécurité l'équipement utilisé ne doit pas être branché sur les câbles électriques sous tension. Pour établir la transmission, nous positionnons l'émetteur sur la surface du sol à l'aplomb de l'ouvrage, afin qu'il puisse y induire une fréquence de positionnement.

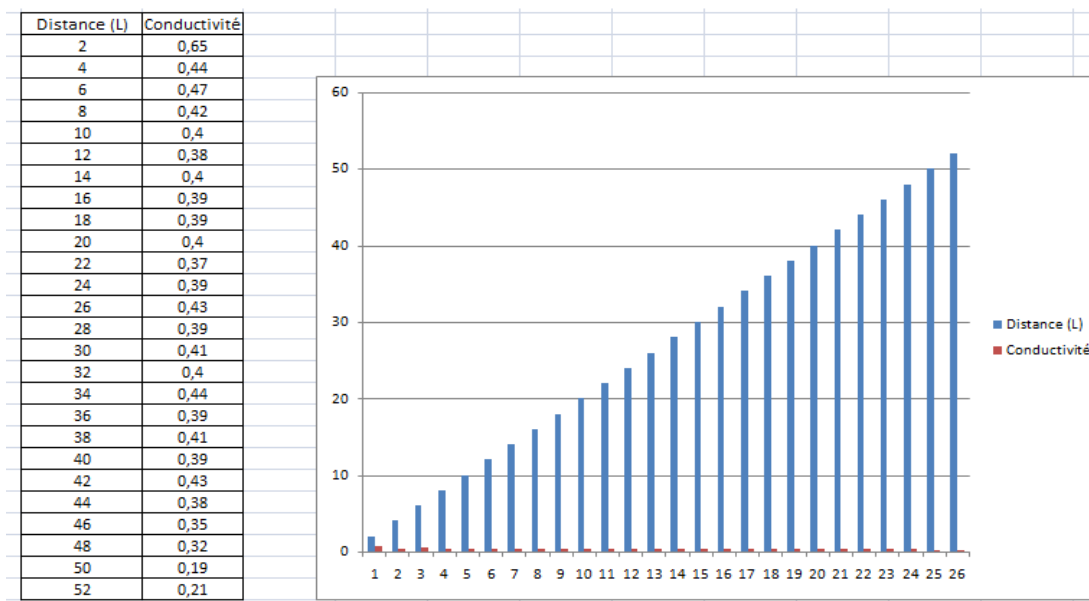


Figure 9: histogramme représentant la distance parcourue (m) par rapport à l'intensité captée (mA)

## **12 CARTOGRAPHIE DES UTILITAIRES OBTENUES**

Les coordonnées des différents utilitaires recherchés ont été obtenue grâce à un GPS, en suite les traitements de ces dernières ont été faites à l'aide de logiciel GIS et Autocad. Notons dans ce cadre nous allons illustres la carte obtenue par le logiciel autocard de secteur de nos recherche sur terrain. Ces utilitaires sont localises a une profondeur qui n'est pas constantes. En générale, la profondeur d'investigation varie entre 0.30Cm et 1.50m selon qu'il s'agit soient d'une installation électrique (câble) ou une installation de tuyauterie.



**Photo 12: Théodolite digital Trimble Photo 13 : Gpstrimble**

Les coordonnées prises ont été mise dans un fichier Excel lors de leur traitement sur autocard mais converti en fichier CSV lors de traitement et digitalisation sur GIS. Notons que la carte représentée ci-dessous a été réalisée par le logiciel de dessin Autocad.



**Figure 10: Carte obtenue sur Autocad des différents utilitaires détectés dans le site de recherche**

## **13 RECOMMANDATION**

Après les temps mise lors de nos recherches et prospection sur terrain et vue la nécessite et importance de cette méthode Blue stake (piquetage-marquage) des utilitaires cachés dont nous ne possédons aucune information au paravent ; nous recommandons aux autorités politico administratif de l'État Congolais de pouvoir doter la République des lois et normes pouvant permettre aux différents services de l'état tels que le cadastre, les services d'urbanisme et génie civil et tous ceux qui œuvrent dans les domaines des voiries construction des routes et autres chantiers et aux particuliers voir d'autres sociétés de pouvoir s'inspire et mettre en pratique les normes de cette méthode de Blue stake (piquetage-marquage) en vue d'éviter et prévenir les accidents dans leurs chantiers respectifs ou d'endommager les utilitaires existant qui peuvent causer les pertes des matériels ou la vie des travailleurs sur terrain ou encore priver plusieurs personnes ou habitant d'un quartier sans énergies électriques ou l'eau après avoir endommager les utilitaires (photo14).Le manque des plans et cartes détaillées des différents utilitaires peut causer des dommages très graves lors des excavations, fouilles et forage sur terrain d'où la prévention de ces différents risques dangers s'impose.

Ainsi l'État Congolais ou autres organismes voir aussi les particuliers pourraient se servir de cette approche de Blue stake pour les projets de développement et planification urbaine dans différentes sociétés dans le but d'exécuter les différents travaux en toute sécurité suivant les principes et normes dans le cadre de la protection de l'environnement et le développement durable.

Notre souhait dans ce domaine de recherche et projection dans le futur ; est d'étendre cette méthode pour obtenir des cartes et plans détaillés de plusieurs secteurs qui pourront être consultés par différents services publics de l'état ou par des particuliers dans le but majeur de ne pas endommager les utilitaires rencontrés puis faire leurs mise à jour en cas de découverte lors des travaux d'excavation et pénétration sur différents sites et chantier suivant les principes et normes sécuritaires adéquates.



*Photo 14 : travaux d'excavation pour les drainages de la voirie sur Biayi/ Lubumbashi RD.Congo 2012*

## 14 CONCLUSION

La méthode Blue stake (piquetage-marquage) étant une procédure qui consiste à identifier, marquer et cartographier les installations enfouies (cachées) nous a permis lors des travaux sur terrain en maille réduite de localiser avec précision les câbles électriques et installation de tuyauterie dans le secteur de nos recherche dans la cite de Fungurume dans la province de localisé aux environs de la route nationale N°39 au NW de la ville de Lubumbashi. Lors des travaux sur terrain, la prospection électromagnétique en mode actif où le raccordement direct de la pince à champ électromagnétique branché sur l'émetteur et autour de l'équipement recherché et/ou des électrodes connectés d'une part sur le sol à l'aide d'une tige de terre et l'autre sur l'utilitaire recherché donne beaucoup plus des précisions en ce qui concerne l'emplacement, la direction et la profondeur de tuyau galvanisé localisé lors de nos recherches expliqués ci- haut.

Notre constat est que le courant injecté dans le sol à partir de l'émetteur exprimé en milli Ampère ; enregistre une résistivité qui décroît en fonction de la distance parcourue sur terrain; en d'autre terme plus on est près de la source d'émission (émetteur) plus le signal est fort, en s'éloignant de la source la résistivité diminue par conséquent, la localisation et identification de l'utilitaire recherché devient de plus en plus difficile.

Les histogrammes et courbes vue ci haut, interprètent la manière dont les utilitaires recherchés (câbles électriques et tuyauterie galvanisés) sur terrain se comportent lors des travaux de prospection géophysique en approche électromagnétique sur terrain en ce qui concerne le mode actif en raccordement direct en utilisant soit la pince à champ électromagnétique, soit les électrodes enfoncé dans le sol et branché sur l'équipement (le détecteur Vloc Pro2). Notons que dans ce cas, nous travaillons dans une maille réduite pour plus de précision sur terrain.

Il en est de même lors des travaux en mode actif induit où l'émetteur n'est pas relié à un quelconque utilitaire (câble, tuyau) recherché sur terrain. Le mode passif est utilisé pour une reconnaissance générale en maille large, pouvant nous permettre de localiser différents signaux que l'on considère comme anomalie lors des travaux de prospection sur terrain.

Notons que la détection par méthode acoustique fait par Hydrolux5000H2 et son générateur acoustique PWG/2-Fast demandent une bonne attention et ouïe très fine lors des travaux sur terrain ; l'équipement entrant très sensible enregistre même les parasites environnants pouvant ainsi conduire à une mauvaise interprétation des résultats et par conséquent être enduit en erreur.

La représentation sur carte des utilitaires par différentes couleurs s'expliquent suivant le code qui régit cette méthode vue ci haut en vue de distinguer les réseaux des câbles électriques, ceux des tuyauteries ou autres. Notons que la détection de ces utilitaires cachés a été faite sur un sol argileux, sableux, talqueux ainsi que sur les roches siliceuses et shales dolomitiques caractérisant la série des mines localisée dans notre secteur de recherche.

## **REFERENCES**

- [1] Soufiane LAQBAYLI ,2013. Étude d'opportunité de développement sur le marché de la topographie de réseau, pg 24 ; 38-39.
- [2] Guide Technique relatif aux travaux à proximité des réseaux, version juin 2012, page 71 [Online] [www.observatoire-national.dtdict.fr/sites/default/files/fichiersPDF/textes%20reglementaires/guidetechnique06-2012.pdf](http://www.observatoire-national.dtdict.fr/sites/default/files/fichiersPDF/textes%20reglementaires/guidetechnique06-2012.pdf)
- [3] Keary, P., M. Brooks, 1991. An Introduction to Geophysical Exploration. BlackwellScientific Publications, 2<sup>eme</sup>ed.
- [4] Reynolds, J. M. ,1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Wiley, Chichester, UK.
- [5] Telford, W. M., L. P. Geldart et R. E. Sheriff, 1990. Applied Geophysics. Cambridge University Press, 2e ´ed.

## Investissements Directs Etrangers et industrialisation de l'Afrique

### [ Foreign direct investment and industrialization of Africa ]

*Islem KRIAA<sup>1</sup>, Ridha ETTBIB<sup>2</sup>, and Zied AKROUT<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Etudiante mastère de recherche en finance et développement économique, Université de SFAX, URECA, Institut Supérieur d'Administration des Affaires de Sfax, Tunisia

<sup>2</sup>Assistant en méthodes quantitatives, Université de Sfax, MODILS, Institut Supérieur d'administration des Affaires de Sfax, Tunisia

<sup>3</sup>Maitre de conférences, Université de SFAX, URECA, Institut Supérieur d'Administration des Affaires de Sfax, Tunisia

---

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This article studies the relationship between the foreign direct investment (FDI) and the industrialization. It examines the impact of the FDI on industrial performances in a sample comprising thirty nine African countries within the period extending from 1980 til 2015. The estimation technique hinges upon the generalized method of moments along with instrumentation of variables based on dynamic panel data. On the one hand, the results of different estimations proved that the FDI does not contribute to the industrialization of Africa. Contrarily, the latter has a positive and significant impact on added value by manufacturing integrating interaction variables. On the other hand, the FDI contribute significantly to the amelioration of the added value in the industrial sector. The positive and significant effect characterizes the five African regions in a distinct manner. This disparity is essentially due to the availability of natural resources and the difference in inter-regional economical and political structures. Based on the aforementioned results, it is advisable that African countries reinforce the FDI in favor of industrialization in order to assure an adequate structural transformation of the continent.

**KEYWORDS:** foreign direct investment, industrialization, Africa.

**RESUME:** Cet article propose une étude de la relation entre les Investissements Directs Etrangers (IDE) et l'industrialisation. Il examine l'impact des IDE sur les performances industrielles pour un échantillon de trente neuf pays africains sur la période 1980-2015. La technique d'estimation repose sur la méthode des moments généralisés avec instrumentations des variables basée sur des données de Panel dynamique. Les résultats d'estimation montrent d'une part, que les IDE ne contribuent pas à l'industrialisation de l'Afrique en considérant la variable d'intérêt (IDE) et les variables de contrôles. En revanche, ces derniers ont un impact positif et significatif sur la valeur ajoutée manufacturière en intégrant les variables d'interactions. D'autre part, les IDE contribuent de manière significative à l'amélioration de la valeur ajoutée du secteur industriel. L'effet positif et significatif caractérise les cinq régions africaines, mais d'une manière distincte. Cette disparité est due, essentiellement, à la disponibilité des ressources naturelles et à la différence des structures économiques et politiques interrégionales. A partir des ces résultats, il convient aux pays africains de renforcer les IDE en faveur de l'industrialisation de l'Afrique afin d'assurer une transformation structurelle adéquate du contient.

**MOTS-CLEFS:** Investissements Directs Etrangers, industrialisation, Afrique.

**CODES JEL:** E23, F21, F41.

## **1 INTRODUCTION**

La révolution industrielle est marquée dans l'histoire comme étant l'événement le plus important de la civilisation moderne. Depuis son apparition, plusieurs aspects se sont améliorés tel que les modes de production, la définition du travail, l'organisation de la société... Le terme de "révolution industrielle" est apparu en Grande-Bretagne dans les années 1770-1780 pour se propager ensuite ailleurs : en France, aux Etats-Unis, en Allemagne et au Canada. Pour ces pays en cours d'industrialisation, étant donné que leurs premières expériences étaient longues, on parle alors de l'industrialisation. Cette dernière représente un grand tournant pour ces pays puisqu'elle regroupe des transformations aussi bien techniques que sociales et économiques.

L'industrialisation est définie comme étant le processus de changement rapide de l'industrie permettant le passage d'une société primitive à une société commerciale et industrielle. C'est un grand cycle d'innovation favorisant la dynamique économique dans son ensemble. Elle désigne également le processus de fabrication des produits manufacturiers avec des techniques permettant une forte productivité du travail et qui regroupe les travailleurs dans des infrastructures constantes avec des horaires fixes et un règlement stricte. C'est un processus qui bouleverse les techniques de production.

Historiquement, le lieu géographique de l'industrie manufacturière s'est déplacé du Royaume-Uni vers l'Europe continentale, puis vers les Etats-Unis et plus tard vers le Japon. De nos jours, il migre vers l'Asie Orientale, vers des pays comme la Corée du Sud et la Chine. En 2016, le monde contient trente sept pays industrialisés d'après l'UNICEF.

L'industrialisation était un élément essentiel de développement des forces productives. En effet, l'expérience de certains pays comme l'Allemagne, les Etats Unis et les dragons asiatiques a montré que l'industrie était une source d'émergence et de puissance mondiale. En outre, elle a joué un grand rôle dans la résolution des graves problèmes de la pauvreté et de sous-développement. Selon Emmanuel Martin (2012), l'industrialisation est le meilleur atout pour sortir les populations de la pauvreté.

Le problème qui se pose aux pays en développement est qu'ils sont loin d'être « des pays industrialisés ». D'abord, parce qu'ils ne sont pas encore capables à créer de la valeur vu le manque des compétences. De plus, l'insuffisance des moyens de financement empêche ces pays de se focaliser sur l'industrialisation. Pour cela, vers la fin des années 60, les flux d'aide en provenance des pays développés ont beaucoup augmenté afin de créer l'industrie. Ainsi, ces flux vont être utilisés pour avoir accès à un marché international fortement concurrentiel.

L'Aide Publique au Développement (APD) était donc supposée être bonne. Les discours sur son efficacité étaient nombreux. Pour Jean-Michel Severino (2005), on ne peut pas prouver qu'il y ait un effet positif de l'aide sur la croissance : quand des capitaux arrivent massivement dans un pays, cela crée de l'inflation et une appréciation du taux de change qui provoquent des pertes de compétitivité. De plus, beaucoup de pays en développement restent encore fortement dépendants. Pour cela, ces pays doivent octroyer leurs capacités pour y parvenir seuls. La façon la plus efficace possible est de renforcer les IDE. Selon l'OCDE (1999), l'IDE dans les pays en développement représente la plus importante source financière disponible pour mettre en œuvre le développement durable. Il est plusieurs fois supérieur à l'Aide Publique au Développement consacré à l'industrialisation des pays en développement.

Cet article est consacré à présenter l'expérience de l'Afrique, qui contient le plus grand nombre des pays en voie de développement, dans le processus industriel. Pour témoigner par la suite la contribution des investissements directs étrangers à aider le continent à progresser dans son industrialisation. Le papier est subdivisé en trois sections, la première est consacrée à une revue de la littérature théorique et empirique de la relation entre les IDE et l'industrialisation, dans la deuxième section on va présenter le concept d'industrialisation et l'état des IDE en Afrique et enfin une dernière section pour la validation empirique.

## **2 IDE ET INDUSTRIALISATION : REVUE DE LA LITTÉRATURE**

### **2.1 REVUE DE LA LITTÉRATURE THÉORIQUE**

Durant ces dernières décennies, l'IDE est devenu une source de plus en plus importante de croissance de revenus et de création d'emploi essentiellement dans le secteur industriel. Il a connu un développement important grâce à l'augmentation du nombre et de l'ampleur des opérations et la diversification des firmes multinationales. La diversité des avantages procurés par les IDE fait l'objet de plusieurs discours et mène les agents concernés à enrichir leurs travaux dans ce sujet.

Les institutions financières ont affirmé que le retard de l'Afrique sur le plan industriel est expliqué par le manque d'IDE. Ces derniers ont déclaré que le transfert de technologie assuré par les IDE peut faire sortir le continent de la situation actuelle compte tenu de la richesse de ses ressources naturelles et humaines.

Dans une assemblée de la banque africaine de développement « BAD » à Abidjan (2015), les panélistes ont entendu qu'une fois l'industrialisation lancée, l'Afrique pourra soutenir ses efforts en investissement. Le ministre Brou a affirmé que les gouvernements africains ne disposent pas des capacités pour y parvenir seuls. A cet égard, il est certain que le soutien de l'économie africaine par le développement industriel n'est assuré qu'à travers l'encouragement des IDE.

D'après la banque mondiale « BM » (2015), les IDE peuvent contribuer au développement d'un secteur manufacturier. Les pays africains peuvent bénéficier du développement des compétences, de l'expérience de gestion, des transferts de technologie et de l'intégration dans les chaînes de valeur qui les accompagnent.

Bouoiyour Jamal et Toufik Said (2003) ont affirmé que les entreprises étrangères sont plus productives et donnent des salaires élevés. Selon Carmen Reinhart (2004), l'IDE pousse l'industrialisation de l'Afrique. Emmanue Martin (2012) a indiqué que les IDE peuvent être un facteur d'industrialisation. Yao Shujie, Feng Genfu et Wei Kailei (2006) ont ajouté que l'IDE est un moteur de l'efficacité de la production : c'est un moteur puissant de croissance économique pour une économie nouvellement industrialisée pour rattraper les pays les plus avancés.

D'après la BAD (2013), la présence des IDE chinois en Afrique semble jouer un rôle catalyseur dans la croissance tant que caractéristique de politique industrielle de la région : « dans le cadre de sa coopération en matière de développement avec l'Afrique, la Chine a initié et financé l'exploitation des zones économiques spéciales (ZES) en Zambie, à Maurice, au Nigeria, en Ethiopie, en Egypte, en Tanzanie, en Algérie et au Botswana. »

Selon Marc Lautier (2001), l'ouverture aux IDE s'accompagne d'un retour en force des politiques industrielles en Corée du Sud, en Malaisie et en Thaïlande. D'après la BM (2015), l'industrialisation et la transformation structurelle en Afrique subsaharienne sont, en grande partie, à l'origine d'une vague d'IDE sans précédent.

## 2.2 REVUE DE LA LITTÉRATURE EMPIRIQUE

Le débat sur la relation entre les IDE et l'industrialisation est d'une grande importance puisque ces derniers sont perçus comme un facteur de développement industriel. Sur le plan pratique, les IDE influencent l'industrialisation à travers deux mécanismes. Un mécanisme direct s'appuie sur le rôle crucial de la présence des entreprises étrangères dans l'augmentation de la valeur ajoutée manufacturière. En effet, l'estimation de l'impact des IDE sur la productivité totale des facteurs des firmes locales pour 18 secteurs de l'industrie manufacturière marocaine sur la période 1987-1996, Bouoiyour Jamal et Toufik Said (2007) ont montré que la progression du capital humain et l'ouverture commerciale exerce avec les IDE un impact positif et significatif sur la productivité du secteur industriel. Sur la base d'une estimation qui repose sur la méthode des moments généralisés en système pour des données de 53 pays africains, Bruno Emmanuel (2016) a affirmé que la contribution des IDE dans le processus d'industrialisation est très élevée. Les IDE contribuent de manière significative à la valeur ajoutée de l'industrie au PIB et non à l'emploi du secteur industriel en Afrique pour la période 1975-2014. L'effet positif et significatif est observé dans quatre sous-régions sauf en Afrique de l'Est. Sur la base d'un ensemble des données de Panel entre 1986 et 2006, Binh Duong Nguyen (2010) a montré l'importance du rôle des IDE dans l'industrialisation. En effet, il existe une forte corrélation positive entre la croissance de l'emploi dans la fabrication et la présence des firmes multinationales.

Pour M. Amara et K. Thabet (2012), les IDE ont un effet négatif sur la valeur ajoutée manufacturière pour 138 délégations sur le territoire tunisien entre 1998 et 2004. Les résultats obtenus par Jekki Hichem (2000) n'ont pas relevé l'existence d'un impact positif des IDE sur la croissance de la valeur ajoutée manufacturière au Maroc sur la période 1983-1986. Pour un échantillon de 29 provinces chinoises entre 1988 et 1994, Yu Chen et Demurgen Sylvie (2002) ont admis qu'il n'existe aucune relation claire entre les IDE et les industries des biens intermédiaires et des biens d'équipements. En revanche, les IDE ont un impact positif sur la croissance économique en Chine. Sur des analyses basées sur des données macroéconomiques comprenant 49 pays africains sur la période 1980-2009, Gui Diby (2016) a montré que l'impact des IDE sur le secteur manufacturier n'a pas été significativement différent de zéro.

Quant au mécanisme indirect, il est présenté par les avantages de transfert technologique procurés par la présence des entreprises étrangères. En effet, la relation entre les IDE et l'industrialisation peut être traitée à travers l'effet d'entraînement puisque les nouvelles technologies et l'innovation transférés améliorent la capacité des pays bénéficiaires des IDE à soutenir leurs industries. A cet égard, les résultats d'une recherche menée auprès de 10 entreprises manufacturières, Louise Marchand et Nancy Lauzon (2004) montrent que le savoir et le savoir-faire transmis par les entreprises étrangères améliorent la valeur

ajoutée dans le contexte d'une formation au milieu manufacturier. En effet, l'apprentissage en ligne est considéré comme une innovation dans le secteur industriel.

Sur la base d'une estimation des données de Panel, Jamel Bouoiyour (2006) a montré que la présence étrangère exerce un impact positif et significatif sur la productivité du travail des firmes locales à travers le transfert et la diffusion de technologie. Pour conclure la mise en valeur du capital humain par le transfert technologique dans le secteur industriel conduit à une plus grande productivité et améliore la volonté des employés à effectuer leurs tâches.

### 3 PRESENTATION DU CONCEPT D'INDUSTRIALISATION ET ETAT DES IDE EN AFRIQUE

#### 3.1 ORIGINE ET DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL EN AFRIQUE

Vue les conditions miséreux qu'a connu l'Afrique dans les années 1960, la plupart des pays africains ont commencé à s'orienter vers la promotion de l'industrialisation à travers les flux d'aide. Il y avait, chez l'ensemble du continent, la croyance que l'industrialisation était la seule solution permettant de sauver la situation. De même, le développement manufacturier assure le passage des pays africains d'une économie agricole à une économie moderne et contribue à atteindre une croissance forte et durable ainsi qu'une réduction significative de la pauvreté.

Afin d'atteindre une croissance de long terme et réduire la dépendance vis-à-vis des pays avancés, il s'agissait tout simplement d'imiter les pays industrialisés de l'époque. Ces pays, qui ont bénéficié d'un essor industriel dans le passé, sont devenus aujourd'hui des pays développés dotés d'une forte croissance économique et d'un niveau de développement assez important comme la Corée du sud, le Singapour, le Hong Kong, le Taiwan. D'autres pays asiatique sont encore sur le chemin comme la Chine, l'Inde, la Malaisie...

Bien que plusieurs pays du monde aient connu une transformation économique rapide permettant le passage d'activités de faible technologie vers des industries de moyenne puis de haute technologie, l'Afrique n'a jamais atteint un niveau de croissance inclusive. La croissance de l'Afrique est en grande partie dégagée par les exportations des matières premières comme le pétrole et les métaux. Alors que la croissance des autres régions a été tirée par une transformation basée sur un programme d'industrialisation solide.

Selon Collier et Venables (2007), « Lorsque la diversification des exportations a commencé à prendre son essor en Asie, dans les années 80, aucun pays du continent africains a fourni un climat d'investissement comparables ». D'après Mahamadou Aidara (2013), « la différence entre l'Asie et l'Afrique c'est que l'Asie n'a rien et transforme tout alors que l'Afrique a tout et ne transforme rien ».

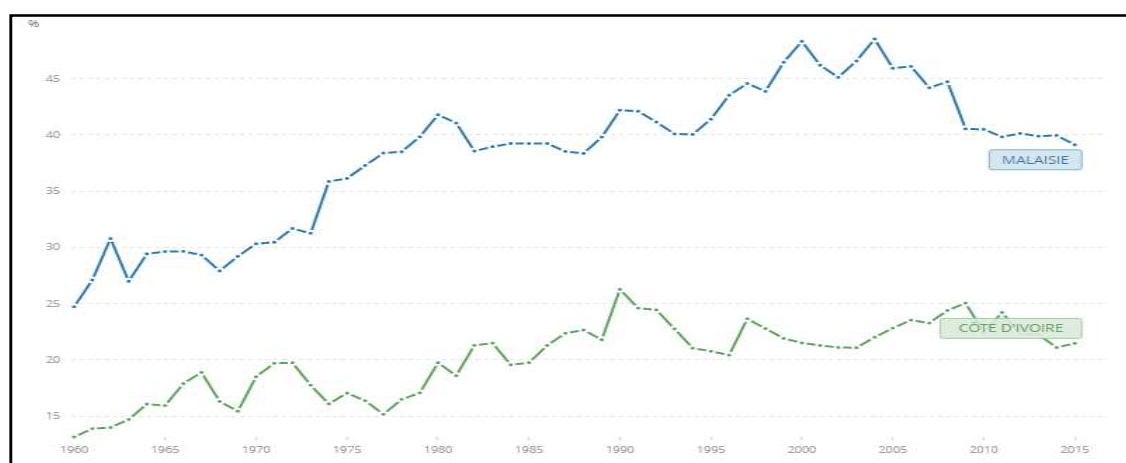


Figure 1 : Industrie, valeur ajoutée (% du PIB) (1960-2015)

Source : données des comptes nationaux de la Banque mondiale et fichiers de données des comptes nationaux de l'OCDE.

En prenant l'exemple de deux pays semblables, la Côte d'Ivoire en Afrique et la Malaisie en Asie en termes de pourcentage de la valeur ajoutée de l'industrie dans le PIB, ce graphique montre une grande différence en termes de valeur ajoutée industrielle pour deux pays semblables en tous points : superficies, climat, population et ressources. Cela s'explique par la volonté des pays asiatiques à promouvoir l'industrie afin de créer un espace économique et commercial adéquat.

Alors que l'industrialisation a contribué au développement des exportations et à la création d'emploi pour plusieurs pays, l'expérience de l'Afrique était décevante. L'échec des politiques adoptées après l'indépendance a commencé par les politiques de substitution des importations qui a poursuivi jusqu'à la fin des années 1970. En effet, durant cette période, avec les chocs pétroliers et l'apparition des problèmes d'endettement, ce type de stratégie a prouvé son insuccès.

En 1980, les pays africains ont introduit les Programmes d'Ajustement Structurel (PAS) en délaissant les actions spécifiques pour promouvoir l'industrialisation. Mais cette orientation a aggravé la situation. La croissance de la valeur ajoutée manufacturière a été insatisfaisante pendant la période des PAS. Et plusieurs pays ont même connu une désindustrialisation. Et malgré leur effort, l'Afrique reste le continent le moins industrialisé du monde qui dépend encore de ses exportations de matières premières vers les pays industrialisés.

A partir des années 2000, les pays africains se sont de nouveau engagés en faveur de l'industrialisation qui représente la clé d'une croissance soutenue. Cette transformation désigne une période de rattrapage et de mise à niveau pour l'Afrique. Pour créer de la valeur et mieux résister aux chocs mondiaux externes, l'Afrique doit exporter leurs importantes ressources naturelles comme des produits finis et non pas sous leur forme brute. De plus, étant riche en ressources, ces pays peuvent réaliser une mutation structurelle et accomplir un développement économique plus facile. Mais le continent n'a fait que quelques progrès au cours de cette période. Il reste encore à la traîne dans la production et le commerce mondiaux des biens manufacturés.

La part de la région dans la valeur ajoutée manufacturière mondiale est tombée de 1.2% en 2000 à 1.1% en 2008. Contrairement à l'Asie, cette part a monté de 13% à 25%. En 2010, l'industrialisation est déjà en marche. Les dirigeants des pays africains prennent de plus en plus conscience du potentiel industriel de l'Afrique. Dans un forum économique international sur l'Afrique en 2013, les économistes et les chercheurs travaillant sur l'Afrique ont constaté que la productivité globale a augmenté et le travail s'est déplacé vers des activités plus productives.

En 2015, les perspectives économiques à moyen terme pour l'Afrique continuent d'être favorables. En fait, dans la journée de l'industrialisation de l'Afrique en 2015, le secrétaire général de l'ONU Ban Ki-moon a assuré qu'un grand nombre de pays africains ont enregistré une forte croissance économique et que l'objectif d'un développement industriel inclusif et durable continue cependant de se dérober.

### 3.2 LES DIFFERENTES PHASES DU PROCESSUS D'INDUSTRIALISATION

#### a) Phase des politiques de substitutions aux importations

Après son indépendance, l'industrialisation était considérée comme étant un élément central du programme de développement de l'Afrique puisqu'elle était le seul moyen assurant le passage du continent vers une économie industrielle moderne. Pour atteindre cet objectif, la plupart des pays africains ont adopté le modèle de substitution aux importations afin de protéger les entreprises locales de la concurrence étrangère.

Le grand espoir des autorités africaines était que le remplacement des biens importés par des biens produits localement favorise l'autonomie économique de l'Afrique et contribue à leur développement. En effet, la part de la production manufacturière dans le PIB africain s'est accélérée entre 1970 et 1980. Elle a passé de 6.25% en 1970 à 11.92% en 1980 pour les pays africains en développement. Pour l'Afrique de l'Est, cette part a atteint 4.93% en 1980 contre 1.67% en 1970. Elle est passée de 13.28% à 16.78% durant la même période pour l'Afrique de l'Ouest et de 10.27% à 11.81% pour l'Afrique Centrale.

Cependant, à la fin des années 1970, ce modèle a montré ses limites et a été remis en cause pour diverses raisons. La politique économique adoptée a causé la réduction des recettes en devises qui entrave le développement industriel de la région. De plus, cette stratégie a fait obstacle aux exportations et l'agriculture a été également abandonnée. Et elle n'a pas réussi à établir des entreprises capables de survivre sur les marchés compétitifs. Selon Siméon Maxime Bikoué (2010) « l'industrialisation par substitution aux importations n'a ni réduit les importations de l'Afrique mais en a seulement modifié la structure, ni rendu la production du continent compétitives, ni encore moins créé de véritable tissu industriel; elle a plutôt aggravé les tensions sociales et a pour ainsi dire déclenché un véritable mouvement de désindustrialisation ».

D'après F.Mendes, A.Bertella, P.Teixeria (2014), l'échec de la politique de substitution aux importations est arrivé tôt et des impacts négatifs sur les économies africaines avaient une grande ampleur. « Les pays en voie de développement

abandonnèrent peu à peu ce modèle dans les années 1980 et 1990 sur demande du FMI, à l'origine de plans d'ajustement structurels. » Charles Larue (2013)

#### **b) Phase des Programmes d'Ajustement Structurelle (PAS) :**

Après l'échec de la stratégie de substitution aux importations et la naissance des effets de crise de pétrole, les pays africains se sont trouvés devant une situation beaucoup plus pire. En 1980, les institutions monétaires comme le FMI et la BM ont donc recommandé comme solution aux pays concernés d'adopter des PAS. Le principal objectif était de réduire le rôle de l'Etat dans le processus d'industrialisation en faveur des marchés pour créer un environnement favorable au développement du secteur privé. A cet égard, ces institutions ont imposé certaines réformes politiques afin de bénéficier les pays africains de l'aide financière tel que la déréglementation des taux d'intérêt, la libéralisation du commerce, la privatisation des entreprises publiques, la dévaluation de la monnaie et la suppression des subventions publiques. Mais les résultats se sont avérés négatifs.

Pour l'Afrique du Sud, la part de valeur ajoutée industrielle dans le PIB en 1980 a subi une baisse remarquable (figure n°2). Selon Fantu Cheru (1992), les prescriptions du FMI et de la BM ont donné lieu à des effets sociaux et écologiques négatifs pour l'Afrique Subsaharienne. Au Mozambique, l'affaiblissement du rôle de l'Etat durant cette période a mis un échec pour la promotion du développement industriel. Pour le Ghana, le Nigeria et le Zambie, la libéralisation commerciale a été à l'origine des fermetures de certaines entreprises locales. Tilman Altenburg (2006) a admis que les pays qui ont réussi à rattraper leur industrialisation sont ceux dont les gouvernements ont participé de manière proactive à la promotion du changement structurel, à la recherche des nouveaux marchés et à la canalisation des ressources dans des nouvelles activités. Selon Jeffrey Herbst (2012), le PAS rend le climat politique beaucoup plus risqué tout en affaiblissant le rôle de l'Etat. Plus la cause de l'inégalité, les PAS sont également la cause du gaspillage des ressources et des dépenses non productives. Diane Elson (1995)

En bref, les objectifs de la politique d'ajustement structurel ne sont pas réalisés. Et tout comme la stratégie de substitution aux importations, le PAS a montré son échec. « A la fin des années 1990, les responsables politiques africains ont commencé à réévaluer leurs stratégies de développement pour éviter certaines des erreurs commises dans les phases tant d'industrialisation fondée sur le remplacement des importations que des programmes d'ajustement structurel. » ONUDI et la CNUCED (2011)

### **3.3 RÔLE DES AUTORITÉS AFRICAINES**

La tentative qu'a vécue l'Afrique depuis son indépendance dans le domaine de l'industrie avait échoué. La principale cause de cet échec est l'ingérence excessive de l'Etat dans la vie économique. Le rôle de l'Etat dans le processus d'industrialisation est important car il est le seul agent capable d'adopter et de décider de la mise en œuvre d'un programme industriel. De plus, il est le seul agent capable de réaliser certains types d'investissement trop coûteux. Namalguebzanga Kafando (2014) « Les stratégies d'industrialisation diffèrent par le rôle plus ou moins important de l'Etat dans leur mise en œuvre ainsi que les objectifs à atteindre » (Bernard Conte 2009). L'échec de l'expérience africaine a commencé par les stratégies de substitution aux importations dans laquelle l'Etat avait beaucoup investi dans l'industrie. Leur objectif était d'encourager les investissements dans l'industrie manufacturière.

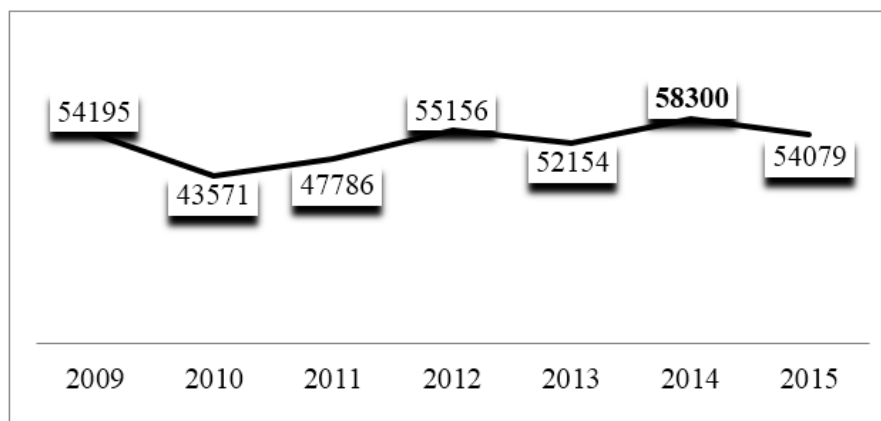
La concentration de l'Etat sur le secteur industriel a conduit à un délaissement des autres secteurs. De plus les Etats africains n'ont pas fourni assez d'effort afin d'encourager les IDE. Et contrairement aux autres pays émergents comme les pays asiatiques, les pays africains n'étaient pas des pays attractifs des IDE. Ces pays étaient donc victimes d'une mauvaise gouvernance.

Ces dernières décennies, les pays africains se sont concentrés de plus en plus sur la mise en place des chaînes d'approvisionnement efficaces et sur l'amélioration des incitations des IDE. Les autorités africaines ont donné la preuve de leur engagement renouvelé en faveur de l'industrialisation dans le cadre d'un programme élargi visant à diversifier leurs économies et à développer les capacités de production pour une croissance économique forte et soutenue, la création d'emploi et la réduction sensible de la pauvreté (BAD 2013). En effet, les chefs des Etats africaines ont adopté en 2008 le plan d'action pour le développement industriel accéléré de l'Afrique (AIDA).

La réussite de l'Afrique en matière de politique industrielle nécessite la levée des obstacles de la mauvaise gouvernance. De plus, la diversification de l'économie africaine a besoin de l'élaboration des nouvelles politiques industrielles afin de créer une base industrielle solide en Afrique.

### 3.4 MOUVEMENTS DES FLUX DES IDE AFRICAINS

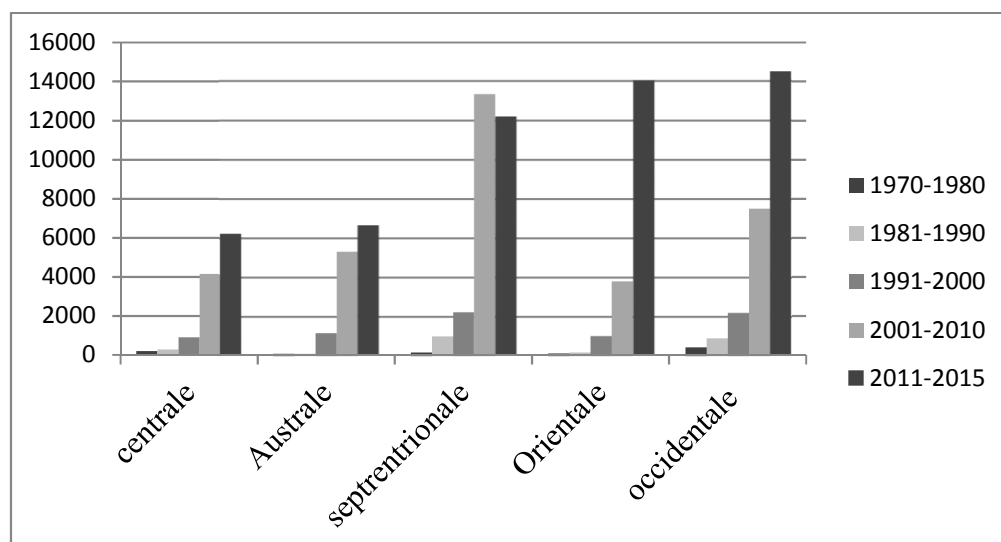
Depuis le milieu des années 1980, la croissance des flux d'IDE dans le monde était persistante. D'après les statistiques de la CNUCED, l'état de flux d'IDE dans le monde était à l'ordre de 13 257 Millions de Dollars « MD » en 1970, 54 400 MD en 1980, puis 204 896 en 1990, pour atteindre 1 358 820 en 2000. Au total, dans une trentaine d'années, les flux des IDE dans le monde ont été multipliés par plus de 100. Pour le cas de l'Afrique, la part des flux d'IDE était de 1267 MD en 1970, 400 en 1980, 2845 en 1990 et enfin 9624 en 2000 soit un taux respectif de 10%, 0,7%, 1.3% et 0,7%. Inégalement répartis dans le monde, l'Afrique se situe parmi les pays les moins bénéficiaires des flux d'IDE. En 2001, les ces derniers ont enregistré une chute remarquable passant de 1 358 820 en 2000 à 683 765 MD. Cette tendance à la baisse est considérée par la CNUCED comme un retour à la normal. Ce recul est essentiellement dû à la diminution des fusions, des acquisitions, et des privatisations. Contrairement à l'Afrique, ces flux ont atteint une valeur de 19 975 millions de dollars en 2001 contre 9651 en 2000, soit une hausse de plus de 100%. En 2005, cette part a touché 29 632 MD pour atteindre 57 729 en 2008. Entre 2009 et 2015, les flux entrants des IDE sur le continent ont connu une stabilité. D'après les statistiques de la CNUCED, ces flux sont résumés dans la figure ci-dessus.



**Figure 2 : Flux entrants des IDE en Afrique en MD (2009-2015)**

Source : données de la CNUCED, travail de l'auteur

Durant ces dernières années, les pays africains ont enregistré une amélioration significative en fonction des flux entrants des IDE. En 2014, les entrées mondiales d'IDE ont diminué. Dans son rapport (2015), la CNUCED a affirmé que les entrées mondiales d'IDE ont diminué de 16 % en 2014. Cette diminution est due principalement à la fragilité de l'économie mondiale, et à l'incertitude des investisseurs quant aux politiques publiques. De plus, les nouveaux investissements ont été contrebalancés par quelques très importantes opérations de cession. En revanche, les flux des IDE entrants en Afrique ont atteint un seuil de 58 300 MD en 2014, soit la part la plus importante depuis 1970. Cela confirme non seulement que les pays africains ont développés une stratégie idoine pour attirer les IDE mais aussi qu'ils ont réussi à enregistrer une courbe croissante des flux des IDE depuis les années 70.



**Figure 3 : Flux entrants des IDE dans les régions africaines en MD (1970-2015)**

Source : données de la CNUCED et calcul de l'auteur

\*calculés en moyenne décennale

La figure ci-dessus montre que la période 2011-2015 s'est caractérisée par une hausse remarquable des flux des IDE entrants. En effet, étant une région très riche en minéraux et en pétrole, l'Afrique occidentale présente une destination favorable pour les investisseurs étrangers. L'omniprésence de cette région, en matière d'attraction des IDE, est due en grande partie à la production du pétrole. Selon l'OCDE (2014), le Ghana, la Côte d'Ivoire, ont reçu des investissements considérables de la part des sociétés transnationales étrangères. En outre, la présence prépondérante de l'Afrique orientale est justifiée par diverses raisons. L'augmentation des IDE au Kenya est motivée non seulement par la prospection pétrolière et gazière, mais aussi par l'augmentation de la production industrielle et de service de transport. L'Éthiopie suit une stratégie industrielle en consacrant plus d'effort à attirer des IDE asiatiques. Au Mozambique, l'investissement dans le secteur du gaz est d'une grande importance. CNUCED (2014)

En Afrique septentrionale, la hausse des IDE est due à l'avancement de l'Égypte, le Maroc et le Soudan ont réussi à enregistrer une hausse remarquable des flux des IDE. Pour l'Afrique centrale, la croissance économique favorable et la bonne politique économique ont donné davantage confiance aux investisseurs étrangers. L'augmentation des IDE en Afrique australe s'explique par les entrées sans précédent en Afrique du Sud. CNUCED (2014). De plus, l'augmentation des investissements intra-africains a joué un rôle très important. Selon la CNUCED (2015), « de 2009 à 2013, 18% des annonces d'investissements étrangers de création de capacités provenaient de pays africains, contre moins de 10 % pendant la période 2003-2008 ».

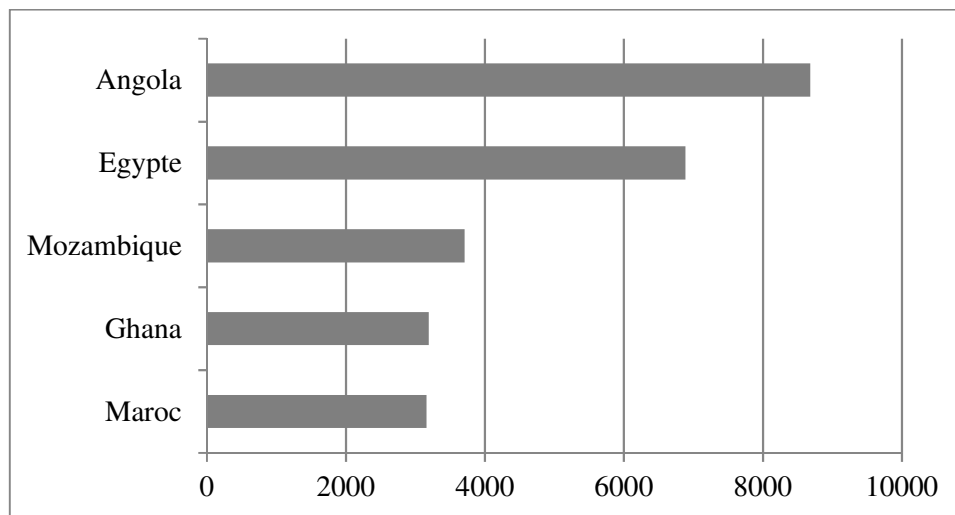
Les entrées d'IDE en Afrique ont augmenté de 3.7%, représentant au total 54 milliards de dollars en 2015. Cela explique que ce continent s'intéresse de près à la réalisation des objectifs visant à tirer profit des avantages miraculeux des IDE. Néanmoins, cette augmentation cache des inégalités sur l'ensemble du continent. En outre, la répartition au sein du 5 grandes régions africaines fait apparaître des nuances.

**Tableau 1 : Variations des flux entrants des IDE en MD (2013-2015)**

|                        | 2013         | 2014         | 2015         | Δ 2013-2015 |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| <b>Afrique</b>         | <b>52154</b> | <b>58300</b> | <b>54079</b> | <b>3.69</b> |
| Afrique occidentale    | 14493        | 12115        | 9894         | -31.73      |
| Afrique orientale      | 14766        | 16786        | 13937        | -5.61       |
| Afrique septentrionale | 12754        | 12044        | 12924        | 1.33        |
| Afrique australe       | 9652         | 6847         | 3292         | -65.89      |
| Afrique centrale       | 489          | 10507        | 14032        | 2769.53     |

Source : données de la CNUCED, calcul de l'auteur

Idriss Linge (2016) explique la baisse des IDE à destination de l'Afrique occidentale par le repli des investissements au Nigéria. Il affirme que « la première économie d'Afrique souffre encore de la baisse des prix de pétrole ». De plus, la décision du nouveau président Buhari de maintenir la monnaie locale à un niveau élevé a provoqué des retraits des investisseurs étrangers. La diminution des flux en Afrique orientale est à l'origine des baisses enregistrées au Mozambique, au Tanzanie et au Zambie. Pour l'Afrique septentrionale, l'augmentation des flux est tirée par la vitalité de l'Egypte. Le recul des IDE en Afrique du Sud fait baisser les IDE en Afrique centrale. En effet, la hausse des coûts de l'énergie et la baisse des prix des matières premières minières ont fait chuter les IDE en Afrique du Sud. Malgré la baisse des IDE dans la République du Congo, l'Afrique centrale a connu la meilleure performance du continent. Cette augmentation est remarquée grâce au volume record capturé par l'Angola, soit 8.7 milliard de dollars.



**Figure 4 : Les cinq premiers pays africains bénéficiaires d'IDE en 2015**

Source : Données de la CNUCED, travail de l'auteur

#### 4 IDE ET INDUSTRIALISATION DE L'AFRIQUE : UNE VALIDATION EMPIRIQUE

En analysant l'impact des IDE sur l'industrialisation de l'Afrique, nous nous basons sur un échantillon global composé de 39 pays africains<sup>1</sup> sur la période 1980-2015 dont les données sont issues de la Banque Mondiale (WDI 2016). Dans ces modèles, nous adaptons la méthode des moments généralisés avec instrumentalisation des variables basée sur des données de panel dynamique. Pour la construction des variables, notre modèle est inspiré du modèle de Bruno Emmanuel (2016).

##### - Modèle 1 :

$$\text{Ind.VAit} = \beta_0 + \alpha \text{Ind.VAit-1} + \beta_1 \text{IDEit} + \beta_2 \text{PIB/habit} + \beta_3 \text{IDit} + \beta_4 \text{KHit} \\ + \beta_5 \text{Ouv/Comit} + \beta_6 \text{Infrasit} + \epsilon_{it}$$

##### - Modèle 2 :

$$\text{Ind.VAit} = \beta_0 + \alpha \text{Ind.VAit-1} + \beta_1 \text{IDEit} + \beta_2 \text{PIB/habit} + \beta_3 \text{IDit} + \beta_4 \text{KHit}$$

<sup>1</sup> Afrique du Nord : Algérie, Tunisie, Egypte, Maroc.

Afrique Australe : Afrique du Sud, Botswana, Lesotho, Swaziland.

Afrique Centrale : Angola, Cameroun, République centrafricaine, Tchad, Congo, République démocratique du Congo, Gabon.

Afrique de l'Est : Burundi, Kenya, Madagascar, Malawi, Maurice, Mozambique, Rwanda, Seychelles, Ouganda, Tanzanie, Zambie, Zimbabwe.

Afrique de l'Ouest : Bénin, Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Ghana, Guinée, Mali, Mauritanie, Niger, Nigéria, Sénégal, Sierra Leone, Togo.

$$+ \beta 5 \text{ Ouv/Comit} + \beta 6 \text{ Infrasit} + \beta 7 (\text{IDEit} * \text{KHit}) + \beta 8 (\text{IDEit} * \text{IDit}) \\ + \beta 9 (\text{IDEit} * \text{Ouv.Comit}) + \varepsilon \text{it}$$

– **Modèle 3 :**

$$\text{Ind.VAit} = \beta 0 + \alpha \text{ Ind.VAit-1} + \beta 1 \text{ IDEit} + \beta 2 \text{ PIB/habit} + \beta 3 \text{ IDit} + \beta 4 \text{ KHit} \\ + \beta 5 \text{ Ouv/Comit} + \beta 6 \text{ Infrasit} + \beta 7 (\text{IDEit} * \text{KHit}) + \beta 8 (\text{IDEit} * \text{IDit}) \\ + \beta 9 (\text{IDEit} * \text{Ouv.Comit}) + \beta 10 \text{ Région} + \varepsilon \text{it}$$

#### 4.1 PRÉSENTATION DES VARIABLES

##### 4.1.1 VARIABLE DÉPENDANTE

La variable dépendante est mesurée par la valeur ajoutée manufacturière en pourcentage du PIB qui explique la capacité des pays africains à transformer les matières premières en biens industriels.

##### 4.1.2 VARIABLES EXPLICATIVES

Nous utilisons dans cette étude les variables explicatives qui sont nécessaires à expliquer les circuits par les quelles les IDE influencent l'industrialisation. Ces derniers correspondent au total des entrées des IDE en % du PIB. De façon générale, les IDE poussent l'industrie. En effet, les IDE entrants est la voie du développement industriel pour les pays d'accueil.

L'investissement domestique (ID) est capté par la formation brute du capital fixe en pourcentage du PIB. C'est l'indicateur qui mesure l'investissement national et qui traduit la capacité de l'accumulation physisque dans l'économie nationale.

Le produit intérieur brut (PIB) est présenté par le PIB par habitant (\$ US courants). Le développement d'une demande intérieure et l'efficacité des activités économiques poussent l'industrialisation. En effet, La croissance du revenu joue un rôle puissant dans le développement industriel. XiangZheng Deng, Jikun Huang, Scott Rozelle et Emi Uchida (2008)

Le capital humain (KH) est mesuré par le taux d'inscription à l'école secondaire. Il décrit la capacité d'absorption du pays d'accueil des nouvelles technologies industrielles. Cette capacité participe au développement du processus industriel. En effet, l'amélioration des capacités technologiques aux niveaux des entreprises est nécessaire au succès industriel. Sanjaya Lall (1992)

L'ouverture commerciale (Ouv/Com) est mesurée par la somme des exportations et des importations en pourcentage du PIB. Cette ouverture facilite l'échange des biens d'équipement sophistiqués nécessaires à la production des biens industriels.

Les infrastructures (Infras) sont capturées par le nombre de lignes téléphoniques pour 100 habitants. Les infrastructures peuvent retracer le niveau du développement économique du pays et réduit les coûts de transactions.

Inspiré du modèle d'Emmanuel Bruno (2016), l'IDE peut influencer l'industrialisation à travers le capital humain, l'investissement domestique et l'ouverture commerciale. Ces variables sont (IDE \* KH), (IDE \* ID) et (IDE \* Ouv.com). Afin de capter l'influence des IDE sur l'industrialisation dans chaque région, nous avons utilisé une variable muette (région). Elle prend la valeur 1 si la région est considérée et 0 si non. Selon Bruno Emmanuel (2016), la prise en compte des sous-régions permet de considérer l'hétérogénéité des pays.

**Tableau 2 : Statistiques descriptives**

| Variable       | Moyenne         | Ecart-type      | Min            | Max            | Observations |
|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|--------------|
| <i>Indust</i>  | <b>27.996</b>   | <b>13.418</b>   | <b>0</b>       | <b>77.41</b>   | N = 1404     |
|                |                 |                 |                |                | n = 39       |
|                |                 |                 |                |                | T = 35       |
| <i>IDE</i>     | <b>2.649</b>    | <b>5.116</b>    | <b>- 28.62</b> | <b>54.06</b>   | N = 1404     |
|                |                 |                 |                |                | n = 39       |
|                |                 |                 |                |                | T = 35       |
| <i>PIB/hab</i> | <b>1343.228</b> | <b>2005.292</b> | <b>70</b>      | <b>15695.9</b> | N = 1404     |
|                |                 |                 |                |                | n = 39       |
|                |                 |                 |                |                | T = 35       |
| <i>ID</i>      | <b>20.069</b>   | <b>8.677</b>    | <b>- 2.42</b>  | <b>59.73</b>   | N = 1404     |
|                |                 |                 |                |                | n = 39       |
|                |                 |                 |                |                | T = 35       |
| <i>Ouv.Com</i> | <b>69.107</b>   | <b>36.754</b>   | <b>0</b>       | <b>233.45</b>  | N = 1404     |
|                |                 |                 |                |                | n = 39       |
|                |                 |                 |                |                | T = 35       |
| <i>KH</i>      | <b>34.108</b>   | <b>23.914</b>   | <b>2.48</b>    | <b>115.97</b>  | N = 1404     |
|                |                 |                 |                |                | n = 39       |
|                |                 |                 |                |                | T = 35       |
| <i>Infras</i>  | <b>2.450</b>    | <b>4.930</b>    | <b>0</b>       | <b>31.5</b>    | N = 1404     |
|                |                 |                 |                |                | n = 39       |
|                |                 |                 |                |                | T = 35       |

Source : travail de l'auteur

L'analyse de coefficient de variation confirme le caractère hétérogène des pays africains. La forte dispersion des variables dans les cas du PIB/hab est expliquée par la différence des niveaux de vie au sein des pays. De plus le niveau d'ouverture commerciale varie d'un pays à un autre puisqu'il dépend du degré de libéralisation du pays et de la nature des ressources naturelles dont il dispose.

**Tableau 3 : Matrice de corrélation**

|                | <i>Indust</i> | <i>IDE</i>    | <i>PIB/hab</i> | <i>FBCF</i>   | <i>Ouv/Com</i> | <i>Infras</i> | <i>KH</i> |
|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|-----------|
| <i>Indust</i>  | <b>1</b>      |               |                |               |                |               |           |
| <i>IDE</i>     | <b>1</b>      |               |                |               |                |               |           |
| <i>PIB/hab</i> | <b>0.1589</b> |               |                |               |                |               |           |
| <i>FBCF</i>    | <b>0.3643</b> | <b>1</b>      |                |               |                |               |           |
| <i>Ouv/Com</i> | <b>0.4332</b> | <b>0.5039</b> | <b>1</b>       |               |                |               |           |
| <i>Infras</i>  | <b>0.1237</b> | <b>0.2154</b> | <b>0.3778</b>  | <b>1</b>      |                |               |           |
| <i>KH</i>      | <b>0.1193</b> | <b>0.2873</b> | <b>0.3936</b>  | <b>0.7147</b> | <b>1</b>       | <b>1</b>      |           |

Source : travail de l'auteur

Le coefficient de corrélation ( $r$ ) montre l'inexistence de multi-colinéarité des variables explicatives. Il est pertinent de calculer le coefficient de détermination ( $r^2$ ). En effet, 0.02% de la variabilité de l'industrialisation sont expliqués par les entrées des IDE en Afrique. Sur cette base, 0.1% de cette variabilité sont expliquées par le PIB par habitant, 0.12% par l'investissement domestique, 0.17% par l'ouverture commerciale, 0.003% par les infrastructures et 0.1% par le capital humain.

#### 4.2 ESTIMATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Le tableau 4 donne les résultats des trois modèles, la première colonne présente les résultats en considérant la variable d'intérêt (IDE) et les variables de contrôle (modèle 1), la deuxième colonne présente les résultats du modèle 2 en ajoutant les variables d'interaction, et enfin la troisième colonne retrace les résultats du modèle 3 en utilisant les variables interactives et les variables muettes région.

Tableau 4 : Impact des IDE sur la valeur ajoutée manufacturière

| Ind.VA     | Modèle 1 |       | Modèle 2 |       | Modèle 3 |       |
|------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
|            | Coef.    | P>z   | Coef.    | P>z   | Coef.    | P>z   |
| IDE        | -0.055   | 0.534 | 0.317    | 0.005 | 0.283    | 0.004 |
| PIB/hab    | -0.001   | 0.044 | -0.001   | 0.093 | -0.001   | 0.016 |
| FBCF       | 0.157    | 0.024 | 0.17     | 0.003 | 0.163    | 0.002 |
| Ouv/Com    | 0.069    | 0.063 | -0.005   | 0.838 | -0.014   | 0.277 |
| Infras     | -0.246   | 0.136 | -0.036   | 0.618 | 0.115    | 0.41  |
| KH         | 0.135    | 0.027 | 0.071    | 0.036 | 0.039    | 0.136 |
| IDE*FBCF   | -        | -     | -0.014   | 0     | -0.013   | 0     |
| IDE/OuvCom | -        | -     | 0.003    | 0     | 0.003    | 0     |
| IDE/KH     | -        | -     | -0.008   | 0     | -0.005   | 0     |
| Rég1       | -        | -     | -        | -     | 0.913    | 0.423 |
| Rég2       | -        | -     | -        | -     | 1.845    | 0.242 |
| Rég3       | -        | -     | -        | -     | 2.802    | 0.052 |
| Rég4       | -        | -     | -        | -     | 0.113    | 0.867 |
| Rég5       | -        | -     | -        | -     | 1.146    | 0.132 |

Source : travail de l'auteur

#### - Modèle 1 :

Les résultats de l'estimation du premier modèle montrent que les IDE ne contribuent pas à l'industrialisation de l'Afrique. Malgré l'amélioration de la situation économique du continent, les IDE restent encore peu profitable aux pays africains. Ce faible apport bénéfique des IDE en Afrique s'explique, en premier lieu, par le fait que l'industrie de transformation manufacturière n'a jamais été réellement mise en place. En effet, d'après la Banque Mondiale (2014), l'industrie en Afrique est, en grande partie, basée sur des industries extractives. Deuxièmement, le pouvoir limité des autorités africaines ainsi que l'insuffisance des ressources financières ont laissé la place aux pays développés de mieux profiter des ressources naturelles de l'Afrique. En effet, ce continent a vu ses ressources servir aux autres pays développées. Selon Achille Mbembe (1990), un processus de retrait des ressources naturelles serait en cours en Afrique.

Le PIB par habitant a un effet négatif et significatif sur l'industrialisation de l'Afrique. Ce résultat est expliqué par la baisse des niveaux de vie de la plus part des pays africains qui vivaient encore sous le seuil de pauvreté. Ces pays n'ont pas encore la capacité à développer une demande intérieure suffisante. En 2014, le PIB par habitant africain ne représente que 23.5% de la moyenne mondiale d'après les statistiques de Banque Mondiale. Cette situation constitue un obstacle pour l'amélioration du niveau de vie en Afrique.

L'investissement domestique accroît significativement l'industrialisation de l'Afrique. Une augmentation de 1% de l'investissement national fait accroître l'industrialisation de 0.15%. Cette conclusion montre la volonté des entreprises africaines à renforcer leur processus industriel. En effet, les pays africains ont souvent cherché à promouvoir l'investissement domestique afin de soutenir une croissance économique régulière et un développement industriel durable.

L'ouverture commerciale a un impact positif et significatif sur l'industrialisation de l'Afrique. La libéralisation commerciale a des conséquences favorables sur le développement industriel en Afrique puisqu'elle favorise l'entrée des produits à haute technologie nécessaires à renforcer l'industrialisation. En effet, les pays africains ont développé des relations commerciales avec l'Asie, l'Amérique du Nord et l'Europe. CNUCED (2014).

L'infrastructure en Afrique ne contribue pas à l'amélioration du processus industriel. Cela revient à l'affaiblissement du rôle des autorités africaines qui n'ont pas encore réussi à développer une infrastructure adéquate, vu le manque des recettes financières nécessaires. En effet, le continent souffre encore d'une mauvaise qualité des infrastructures qui présente une nécessité économique. Le taux d'accès aux services de base comme l'eau et l'électricité reste encore très faible en Afrique. Selon la BAD et la FAD (2011), « la faiblesse des infrastructures est la principale contrainte à une croissance plus forte en Afrique centrale ». « Comment être compétitif quand le coût de l'exportation des biens à partir de l'Afrique subsaharienne s'élève à près de 2 000 dollars par conteneur contre à peine plus de 700 dollars dans les pays asiatiques ? » Alassane Bâ (2015).

Le capital humain contribue positivement et significativement à l'accroissement de l'industrialisation. Cette dernière dépend du niveau d'absorption des nouvelles technologies. En effet, L'innovation dans les techniques de production industrielle dépend du capital humain et notamment du niveau d'éducation du pays. Diarra.B.M (2008) a montré que la

différence des performances économiques entre les pays émergents et les pays en développement réside dans le niveau de la qualification de la main d'œuvre.

#### - **Modèle 2 :**

Les résultats de cette estimation montrent que les IDE ont un impact positif et très significatif sur l'industrialisation de l'Afrique. Un accroissement de 1% des IDE fait augmenter la valeur ajoutée dans le secteur industriel de 0.32%. Cela s'explique par la diversification des IDE dans les domaines de l'industrie. Ce résultat n'est pas conforme au résultat de Bruno Emmanuel (2016), qui a affirmé que l'Afrique s'est tournée vers une transformation structurelle de son économie. Ce changement positif s'explique par la prise en compte des variables d'interaction.

Le PIB/hab a un effet négatif et non significatif sur l'industrialisation de l'Afrique. Ce résultat s'oppose au résultat de Bruno Emmanuel (2016). En effet, la population africaine augmente plus proportionnellement que la productivité par tête.

L'investissement domestique a un effet positif sur l'industrialisation de l'Afrique. Tel était le cas pour le capital humain. Ces deux variables contribuent significativement au développement du processus industriel du continent. Contrairement à l'ouverture commerciale et à l'infrastructure qui ne participent pas à l'augmentation de la valeur ajoutée manufacturière de l'ensemble de notre échantillon.

Pour les variables d'interaction, ils ont des différents impacts sur l'industrialisation de l'Afrique. L'ouverture commerciale améliore la contribution des IDE sur l'industrialisation de l'Afrique. Selon Athukorala Premachandra et Jayant Menon (1996), les IDE axés sur les exportations ont apporté des rendements significatifs à l'industrialisation. D'après Lloyd.P.J (1996), une grande partie des IDE en Asie a été dans l'industrie orientée vers les exportations. Cela a permis une transformation de la structure économique africaine en favorisant le transfert de technologie. En effet, cette transformation est une source d'industrialisation des pays. Le capital humain et l'investissement domestique n'améliorent pas la contribution des IDE à l'industrialisation de l'Afrique. Bruno Emmanuel (2016) explique ce résultat par l'orientation des investisseurs étrangers vers les industries extractives.

#### - **Modèle 3 :**

Les IDE contribuent d'une manière très significative à l'industrialisation de l'Afrique. Une augmentation de 1% des IDE fait augmenter la valeur ajoutée manufacturière de 0.28%. Ces derniers apparaissent comme un moteur de l'industrialisation en Afrique. En effet, les IDE augmentent la capacité des pays à réaliser une industrialisation complète.

Le PIB par habitant a un effet négatif sur l'industrialisation en Afrique. Ce résultat confirme la détérioration du niveau de vie en Afrique. La forte croissance de la population africaine constitue un obstacle pour la croissance économique du continent.

L'investissement domestique et le capital humain contribuent à l'industrialisation de l'Afrique. Cette contribution positive est observée dans les trois modèles. Cela traduit les efforts consacrés par les entreprises africaines à imiter les entreprises étrangères afin de construire une base industrielle solide en Afrique. En effet, une formation de haut niveau permet un rendement plus efficace de l'industrialisation de l'Afrique. Bruno Emmanuel (2016).

L'ouverture commerciale a un effet négatif sur l'industrialisation de l'Afrique. Ce résultat est expliqué par la tendance à la baisse des cours de matières premières comme le pétrole et le gaz. Selon Bruno Emmanuel (2016), l'entrée des produits à haute valeur ajoutée concurrence les produits locaux. L'infrastructure a un effet positif et non significatif sur l'industrialisation de l'Afrique.

L'analyse sous régionale montre que les IDE contribuent à l'industrialisation dans toutes les régions de l'Afrique. En Afrique du Nord, l'accroissement de 1% des IDE augmente la valeur ajoutée manufacturière de 0.91%. Cette contribution positive est expliquée par la mise en œuvre des réformes ainsi que par la diversité des firmes internationales dans tous les secteurs. De plus, l'économie de la région dépend de l'industrie agroalimentaire, de la construction et du pétrole. Bruno Emmanuel (2016).

Cependant, la région doit faire face à un ralentissement de sa croissance et des déséquilibres imputables à la faiblesse des prix de pétrole. Banque Mondiale (2015). En Afrique australe, l'apport des IDE à l'industrie est de 1.84%. Ce résultat est expliqué par l'abondance des ressources naturelles très demandées par l'industrie. L'activité extractive de l'or et du diamant contribue à l'industrialisation. L'extraction des minerais favorise l'entrée des IDE en Afrique australe. De plus, les investisseurs étrangers sont attirés par une main d'œuvre disponible et à faibles coûts.

En Afrique centrale, les IDE accroissent positivement et significativement l'industrie. Une augmentation de 1% des IDE fait accroître la valeur ajoutée manufacturière de 2.80%. La stabilité économique donne davantage confiance aux investisseurs étrangers (Nations Unies 2009). Selon Bruno Emmanuel (2016), De plus, le renforcement du capital humain et surtout une lutte efficace contre la corruption contribueraient à diversifier le secteur industriel. La région possède d'importantes ressources

pétrolières, minérales et minières. Cette contribution est à l'origine des efforts consacrés par la région comme le développement des infrastructures et des capacités institutionnelles et humaines. BAD et FAD (2011)

Les IDE contribuent très faiblement à l'industrie en Afrique de l'Est. Cette contribution est de 0.11%. Cette faiblesse est expliquée par la baisse des cours des matières premières tel que le pétrole, les métaux et les produits alimentaires. En outre, la densité de la population constitue un obstacle pour le développement de la région.

La contribution des IDE à l'industrialisation est de 1.15% en Afrique de l'Ouest. Les pays de la région possèdent plusieurs motivée par le taux élevé des IDE au Nigéria et en Côte d'Ivoire. En effet, ces pays ont mis en place des politiques accès sur l'encouragement des investissements étrangers. La Côte d'Ivoire s'est caractérisée par la diversification de son industrie qui est basée sur des industries chimiques, des industries agroalimentaires et des industries extractives.

## **5 CONCLUSION**

Le renforcement du secteur industriel représente, pour l'Afrique, le seul moyen pour rattraper son retard et assurer son développement. En effet, l'industrialisation accroît la capacité des pays à assurer une position dominante à l'échelle internationale. Selon M.Nadulu (2014), l'Afrique doit favoriser l'industrialisation à forte intensité de main d'œuvre.

D'après la littérature il existe un lien étroit entre la valeur ajoutée manufacturière et l'IDE. Ce dernier représente un facteur déterminant de l'industrialisation du continent. D'après Jean-Claude Brou (2014), ministre de l'industrie et des mines en Côte d'Ivoire « toute la difficulté désormais pour l'Afrique va consister certes à investir davantage mais, surtout, à investir de manière plus judicieuse ». De plus, L'origine du sous développement du continent tient, en grande partie, au fait que les pays africains n'ont pas pu atteindre les niveaux d'investissements nécessaires. CNUCED (2014).

En effet, il ressort des différentes estimations que les IDE contribuent vraiment à l'industrialisation de l'Afrique. Cette contribution est forte avec la prise en compte des variables d'interactions. Sur la base de ces résultats, il est profitable aux pays africains d'intensifier les entrées des IDE afin d'assurer une transformation structurelle du continent. Pour ce faire, les autorités africaines doivent consolider la stabilité politique et macroéconomique en réduisant le risque et l'incertitude des investisseurs étrangers. Selon la CNUCED (2014), les décideurs africains doivent veiller à promouvoir l'IDE pour que celui-ci soit un moteur efficace de transformation économique en Afrique.

## **REFERENCES**

- [1] Alassane Bâ (2015). « Pourquoi la question des infrastructures est incontournable en Afrique », *Le Monde*, 31 juillet 2015
- [2] Amara, M., & Thabet, K. (2012). Structure industrielle et développement local du littoral tunisien, 1998-2004. *Mondes en développement*, (1), 119-136.
- [3] Athukorala, P., & Menon, J. (1996). Foreign investment and industrialization in Malaysia: exports, employment and spillovers. *Asian Economic Journal*, 10(1), 29-44.
- [4] Aubin, C., Berdot, J. P., Goyeau, D., & Léonard, J. (2006). Investissements directs américains et européens dans les PECO. *Revue économique*, 57(4), 771-792.
- [5] Benassy-Quere, A., Fontagne, L., & Lahreche-Revil, A. (2001). Stratégie de change et attraction des investissements directs en Méditerranée. *Revue d'économie du développement*, (4), 3-30.
- [6] Bikoué, S. M. (2010). Industrialisation par substitution des importations en Afrique et compétitivité internationale: une revue critique. *Repenser les économies africaines pour le développement*, CODESRIA, 103-119.
- [7] Bouoiyour, J. (2006). Productivité du travail, capital humain et écart technologique dans les industries manufacturières marocaines. University Library of Munich, Germany.
- [8] Bouoiyour, J., & Toufik, S. (2007). L'impact des investissements directs étrangers et du capital humain sur la productivité des industries manufacturières marocaines. *Région et développement*, 25, 115-136.
- [9] Chavagneux, C. (2005). Quel avenir pour l'aide au développement? *L'Économie politique*, (4), 6-15.
- [10] Chen, Y., & Démurger, S. (2002). Foreign direct investment and manufacturing productivity in China. CEPII Research Project. April.
- [11] Cheru, F. (1992). Structural adjustment, primary resource trade and sustainable development in sub-Saharan Africa. *World Development*, 20(4), 497-512.
- [12] Collier, P., & Venables, A. J. (2007). Rethinking trade preferences: how Africa can diversify its exports. *The World Economy*, 30(8), 1326-1345.
- [13] Deng, X., Huang, J., Rozelle, S., & Uchida, E. (2008). Growth, population and industrialization, and urban land expansion of China. *Journal of Urban Economics*, 63(1), 96-115.

- [14] Diarra, B. M. (2008). Le role du capital humain dans la stratégie d'industrialisation en Corée du Sud et au Mali: une étude comparée (No. 58). Aix-Marseille Université, CERGAM.
- [15] Elson, D. (1995). Gender awareness in modeling structural adjustment. *World Development*, 23(11), 1851-1868.
- [16] Emmanuel Martin (2012). L'industrialisation, condition du développement de l'Afrique ? (Libre Afrique 19nov2012)
- [17] Gui-Diby, S. L. (2016). Essays on the Impact of Foreign Direct Investments in Africa (Doctoral dissertation, Université d'Auvergne-Clermont-Ferrand I).
- [18] Herbst, J. (1990). The structural adjustment of politics in Africa. *World Development*, 18(7), 949-958.
- [19] Jekki, H. (2000). L'investissement direct étranger dans le secteur manufacturier au Maroc. Quels impacts et quelles perspectives? (Doctoral dissertation, Centre d'Etudes en Macroéconomie et Finance Internationale (Nice)).
- [20] Kohpaiboon, A. (2003). Foreign trade regimes and the FDI-growth nexus: A case study of Thailand. *The Journal of Development Studies*, 40(2), 55-69.
- [21] Lall, S. (1992). Technological capabilities and industrialization. *World development*, 20(2), 165-186.
- [22] Lloyd, P. J. (1996). The role of foreign investment in the success of Asian industrialization. *Journal of Asian Economics*, 7(3), 407-433.
- [23] Marchand, L., & Lauzon, N. (2004). L'apprentissage en ligne en milieu manufacturier: une valeur ajoutée? *Gestion*, 29(1), 59-66.
- [24] Mbembe, A. (1990). Pouvoir, violence et accumulation. *Politique africaine*, (39), 7-24.
- [25] Mendes, A. P. F., Bertella, M. A., & Teixeira, R. F. (2014). Industrialization in Sub-Saharan Africa and import substitution policy. *Revista de Economia Política*, 34(1), 120-138.
- [26] Nguyen, B. D. (2010). Stratégie industrielle des pays asiatiques en transition: le cas du Vietnam (Doctoral dissertation, Paris 13).
- [27] Nkoa, B. E. O. (2016). Investissements directs étrangers et industrialisation de l'Afrique: un nouveau regard. *Innovations*, (3), 173-196.
- [28] Shujie, Y., Genfu, F., & Kailei, W. (2006). Economic Growth in the Presence of FDI: The Perspective of Newly Industrializing Economies [J]. *Economic Research Journal*, 12, 35-46.
- [29] Tilman Altenburg (2011). Industrial Policy in Developing Countries Overview and lessons from seven country cases.
- [30] Tran, T. A. D. (2001). Stratégie de promotion des exportations et ajustement macroéconomique. *Economie internationale*, (2), 3-25.
- [31] BAD (2011). La Chine et l'Afrique : Un nouveau partenariat pour le développement ?
- [32] BAD (2015). Les Assemblées annuelles 2015 de la BAD à Abidjan : les enregistrements en ligne sont ouverts (16/03/2015)
- [33] BAD et FAD (2011). Afrique Centrale : document de stratégie d'intégration régionale (DSIR) 2011-2015.
- [34] BM (2014). L'essor de l'Afrique : un potentiel immense sur fond de croissance et d'inégalités (14 avril 2014).
- [35] BM (2015). Forum Investir en Afrique : Nouer des partenariats pour accélérer l'investissement, l'industrialisation et les résultats en Afrique.
- [36] BM (2015). Industries extractives - Vue d'ensemble
- [37] BM (2015). Les perspectives pour le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord - 05 Octobre 2015.
- [38] CNUCED (2006). Rapport sur les pays les moins avancés.
- [39] CNUCED (2014). Catalyser l'investissement pour une croissance transformatrice en Afrique.
- [40] CNUCED (2014). L'investissement étranger direct en Afrique reste vigoureux, notamment grâce aux investissements intra-africains, selon un rapport de la CNUCED.
- [41] CNUCED et ONUDI (2011). Le développement économique en Afrique rapport 2011 Promouvoir le développement industriel en Afrique dans le nouvel environnement mondial.
- [42] CNUCED et ONUDI (2011). Promouvoir le développement industriel en Afrique dans le nouvel environnement mondial.
- [43] Nations Unies : commission économique pour l'Afrique (2009). Les Economies de l'Afrique Centrale 2009: Vue d'ensemble
- [44] Nations Unies : commission économique pour l'Afrique (2014). L'industrialisation au service du développement inclusif et de la transformation en Afrique.
- [45] OCDE (2002). L'investissement direct étranger au service du développement OPTIMISER LES AVANTAGES MINIMISER LES COÛTS.
- [46] OCDE (2013). Africa forum 2013 MEDIA REVIEW
- [47] OCDE (2014). L'investissement direct étranger au service du développement OPTIMISER LES AVANTAGES MINIMISER LES COÛTS.

## UN NOUVEL ALGORITHME POUR RESOUDRE LE PROBLEME DU FLOT FLOU MAXIMAL

*Fernand MAMANYA TAPASA<sup>1</sup> and Rostin MABELA MAKENGO<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Assistant, Université Pédagogique Nationale, Département de Mathématique et Informatique, RD Congo

<sup>2</sup>Professeur, Université de Kinshasa, Département de Mathématique-Informatique, RD Congo

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** In this article, we first present a theory cadre about the fuzzy flow and we propose a variant of the algorithm of Ford and Fulkerson which permits to calculate the maximal fuzzy flow.

**KEYWORDS:** maximal fuzzy flow, algorithm.

**RESUME:** Dans cet article, nous présentons d'abord un cadre théorique sur le flot flou et proposons une variante de l'algorithme de Ford et Fulkerson qui permet de calculer le flot flou maximal.

**MOTS-CLEFS:** flot flou maximal, algorithme.

### 1 INTRODUCTION

C'est depuis la deuxième moitié du siècle passé, que Ford et Fulkerson ont développé le célèbre algorithme pour résoudre le problème de flot maximal en environnement classique ou déterministe [Mamanya 2012].

Dans la pratique, la plupart des variables utilisées dans un tel environnement ne sont pas mesurées exactement ou de façon précise. C'est le cas des urgences sur les routes, le temps de parcours, le prix du carburant, le nombre de véhicules, le nombre d'accidents,...d'un réseau de transport.

De telles variables sont dites « variables vagues » ou « variables imprécises » ou « variables floues ». Elles font appel aux ensembles flous et aux nombres flous de Zadeh, [Dubois, D; Prades, H 1980] qui permettent de mieux modéliser les imprécisions.

Dans la littérature, le problème de flot flou maximal est moins étudié [Bozhenyuk, A et al.]. [Kumar, A and Kaur, M.2013], proposent un nouvel algorithme pour résoudre le problème du plus court chemin en environnement flou. C'est la méthode de comparaison des nombres flous. [Bagherian 2012], propose une approche du réseau résiduel flou pouvant supporter le flot du cout minimum. [Shengwei Han, Zixiong Peng et Shunqin Wang 2013], présentent le concept de la fonction maximum d'écoulement et appliquent la théorie de l'incertitude au problème de flot maximal.

Cet article propose une variante de l'algorithme de Ford et Fulkerson pour calculer le flot flou maximal. Nous considérons les arcs du graphe ayant les longueurs floues.

La méthodologie utilisée consistait à lire et à résumer les ouvrages ayant trait au flot maximal (flot flou maximal). Cette synthèse a permis d'élaborer la nouvelle variante.

Notre contribution dans cet article est d'avoir proposé cette variante de l'algorithme de Ford et Fulkerson qui permet de calculer le flot flou maximal dans un réseau de transport flou. Quelques définitions sur le flot flou ont été proposées.

La structure de cet article se présente de la manière suivante :

Section 2 : Rappels de l'arithmétique floue,  
 Section 3 : Flot flou  
 Section 4 : Quelques définitions sur le flot flou maximal,  
 Section 5 : Enoncé du problème du flot flou maximal  
 Section 6 : Algorithme proposé  
 Section 7 : Exemple numérique.  
 Section 8 : Conclusion

## 2 ARITHMÉTIQUE SUR LES NOMBRES FLOUS

Nous recourons à l'addition, à la soustraction et à la comparaison des nombres flous triangulaires utiles dans cet article. Un nombre flou, est dit triangulaire s'il existe trois réels  $a$ ,  $b$ , et  $c$  tq  $a < b < c$ , on a :

$$\mu_{\tilde{A}} = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{si } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{si } b < x < c \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (1)$$

Il est noté par  $\tilde{A} = (a, b, c)$  où  $a$  et  $c$  sont les écarts respectivement à gauche et à droite et  $b$  la valeur centrale (le mode). L'arithmétique floue est basée sur deux approches :

- L'approche du principe d'extension de Zadeh dont les deux opérations citées ci-haut sont représentées dans le tableau 1.

**Tableau 1 : Somme et différence de deux nombres flous triangulaires de type L-R**

| type         | Somme de deux nombres flous triangulaires | Différence de deux nombres flous triangulaires |
|--------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Triangulaire | $(b+b', a+a', c+c')_{LR}$                 | $(b-b', a+a', c+c')_{LR}$                      |

Source: Kampempe 2014, Dubois et Prade 1980 et Kaufmann 1973.

- Approche basée sur une arithmétique des  $\alpha$ -coupes et intervalles :

On appelle  $\alpha$  – coupe ou coupe de niveau  $\alpha$  d'un sous-ensemble flou  $\tilde{A}$ , l'ensemble classique suivant [Mukeba 2016]:

$$\tilde{A}_{\alpha} = \{x \in E / \mu_{(\tilde{A})}(x) \geq \alpha\} = [\alpha_1, \alpha_1]. \quad (2)$$

On définit l'opération  $*$  entre deux nombres flous par :

$$[a_1, b_1] * [a_2, b_2] = [\min K, \max K] \quad (3)$$

$$\text{avec } K = [a_1 * b_1, a_1 * b_2, b_1 * a_2, b_1 * b_2] \quad (4)$$

Dans la pratique, [Mukeba 2016] propose le schéma suivant si on veut effectuer les quatre opérations fondamentales sur deux nombres flous pour l'approche des  $\alpha$  – coupe et intervalle:

**Etape 1 :** Défuzzification qui consiste à rendre non flou un nombre flou. C'est l'écrire sous forme d'intervalle de  $\mathbb{R}$  de la manière suivante :

$$\tilde{A}_{\alpha} = [(b-a)\alpha + a, (b-c)\alpha + c] \quad (5)$$

**Etape 2 :** calcul ordinaire : C'est l'application de la relation (3)

Pour + et -, on a :

$$[a_1, a_2] + [b_1, b_2] = [a_1 + a_2, b_1 + b_2] \text{ et}$$

$$[a_1, a_2] - [b_1, b_2] = [a_1 - b_2, b_1 - a_2]$$

**Etape 3 :** Fuzzification : rendre flou le résultat obtenu en (3)

### 3 FLOT FLOU

Considérons le réseau de transport  $\tilde{R}=(X, \tilde{K}, \tilde{C})$  où  $X$  est l'ensemble des nœuds du réseau,  $\tilde{K}=X \times X$ , le produit cartésien de  $X$  dont les éléments sont des arcs flous et  $\tilde{C}$  l'ensemble des capacités floues des arcs flous de  $\tilde{R}$ .

Soient deux nœuds de  $\tilde{R}$  :  $P_1$  et  $P_N$  et appelons  $P_1$  entrée et  $P_N$  sortie de  $\tilde{R}$ . Soient  $\tilde{E}_1$  l'ensemble de communications du réseau partant du point  $P_1$  et  $\tilde{E}_N$  l'ensemble des communications du réseau qui finissent au point  $P_N$ . Comme tous les arcs flous (arêtes) ont de noyaux positifs,  $\tilde{R}$  est un réseau de transport flou. Une fonction  $\tilde{f}_{ij} = \tilde{x}(k_{ij})$ , définie sur l'ensemble  $\tilde{K}$  satisfaisant aux conditions :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{k_{ij} \in \tilde{E}_1} \tilde{x}(k_{ij}) - \sum_{k_{ji} \in \tilde{E}_N} \tilde{x}(k_{ji}) = 0, \forall i \neq 1, N \end{array} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{x}_1 = \sum_{k_{ij} \in \tilde{E}_1} \tilde{x}(k_{ij}) = -\tilde{x}_N, i = 1 \text{ ou } i = N \end{array} \right. \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0 \leq \tilde{x}(k_{ij}) \leq \tilde{c}(k_{ij}), k_{ij} \in \tilde{K} \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{x}_{k_{ij}} \geq 0 \end{array} \right. \quad (9)$$

s'appelle « flot flou » du réseau  $\tilde{R}$  (compatible avec la fonction  $\tilde{C}(k_{ij})$ ,  $k_{ij} \in \tilde{K}$  et dirigé de  $P_1$  vers  $P_N$ . la relation (6) indique que la somme de flots flous sortant à un nœud égale à la somme de flots flous entrant en ce même nœud. C'est le principe de conservation de flots flous, sauf pour les sommets entrée et sortie du réseau.

La relation (7) indique que la valeur du flot sortant dans le réseau égale à l'opposée de valeur du flot entrant dans le réseau. Rien ne se perd pendant le transport de matières.

La relation (8) indique que la valeur du noyau du nombre flou représentant le flot flou est toujours supérieure ou égale à 0 et ne dépasse pas la valeur du noyau de la capacité de l'arc flou.

Dans la pratique, le flot flou peut signifier le temps, le coût, l'état de route, la quantité du carburant consommée entre deux arrêts en transitant sûrement sur d'autres, etc.

### 4 QUELQUES DEFINITIONS SUR LE FLOT FLOU MAXIMAL

- Un arc flou (i,j) est saturé si la valeur modale de sa capacité appelée « noyau du nombre flou » égale à la valeur modale(noyau) du flot qui le traverse.

Pour le nombre flou triangulaire : si la capacité de l'arc flou est  $\tilde{C}(i,j)=(a,b,c)$  et la valeur du flot flou est  $\tilde{X}(i,j)=(d,e,f)$  alors  $b=e$ , l'arc flou (i,j) est saturé.

- Un chemin flou saturé est celui qui contient au moins un arc flou saturé.
- Un flot flou est complet si tous les chemins flous quittant la source au puits sont saturés.

Pour saturer un arc flou ou un chemin flou, on ajoute à cet arc ou à ce chemin le flot flou résiduel de l'arc ou du chemin.

- Le flot flou résiduel d'un arc noté  $\tilde{x}_r(i,j)$  est égal à la différence de la capacité floue au flot flou de l'arc flou :  $\tilde{x}_r(i,j)=\tilde{C}(i,j) - \tilde{x}(i,j)$ .
- Le flot flou résiduel ( $\tilde{x}_r$ ) du chemin est le minimum des flots flous résiduels des arcs flous du chemin flou.
- Le graphe résiduel flou est celui qui contient les mêmes sommets que le graphe de départ et sans arcs flous saturés. Il comprend deux types d'arcs :
  - arcs flous en sens direct (i,j) dont le flot flou est  $\tilde{c}(i,j)-\tilde{x}(i,j)$
  - arcs flous en sens indirect (j,i) dont le flot flou égal à la valeur modale de la capacité de l'arc (j,i) non nul.
- Un chemin flou augmentant est celui dont les valeurs modales des arcs flous en sens direct n'ont pas atteint leurs limites et les valeurs modales des arcs flous en sens indirect ont un flot (noyau) non nul qui le traverse. L'augmentation est le minimum des écarts entre le flot flou courant et les capacités pour les arcs flous en sens direct ou le flot flou courant pour les arcs en sens indirect.

## 5 ENONCE DU PROBLEME DE FLOT FLOU MAXIMAL

Connaissant les capacités des arcs d'un réseau de transport flou, le problème du flot flou maximal consiste à trouver la quantité maximale du flot flou qui peut circuler de la source au puits. L'algorithme le plus connu pour résoudre ce problème en mode déterministe est celui de Ford et Fulkerson, dont une variante en mode flou est présentée dans cet article.

## 6 ALGORITHME PROPOSÉ

Cet algorithme à trois étapes :

Etape 1 : Détermination du flot flou complet

-itération1 : recherche des chemins flous allant de la source au puits

-itération 2 : détermination de chemins flous saturés

-itération 3 : obtention du flot flou complet

Etape 2 : Construction du graphe résiduel flou

-itération 4 : calcul du flot flou résiduel

Itération 5 : détermination des chemins flous augmentant

Etape 3 : détermination du flot flou maximal

-Itération 6 : Existe-t-il de chemin augmentant entre la source et le puits ? Si oui

-itération 7 : Améliorée le flot flou sur le chemin augmentant

-Itération 8 : Marquer les sommets du chemin augmentant et atteindre le puits ;

-Itération 9 : obtenir le flot flou maximal

Fin.

## 7 EXEMPLE NUMÉRIQUE

Soit à déterminer le flot flou maximal du réseau de la figure n°1.

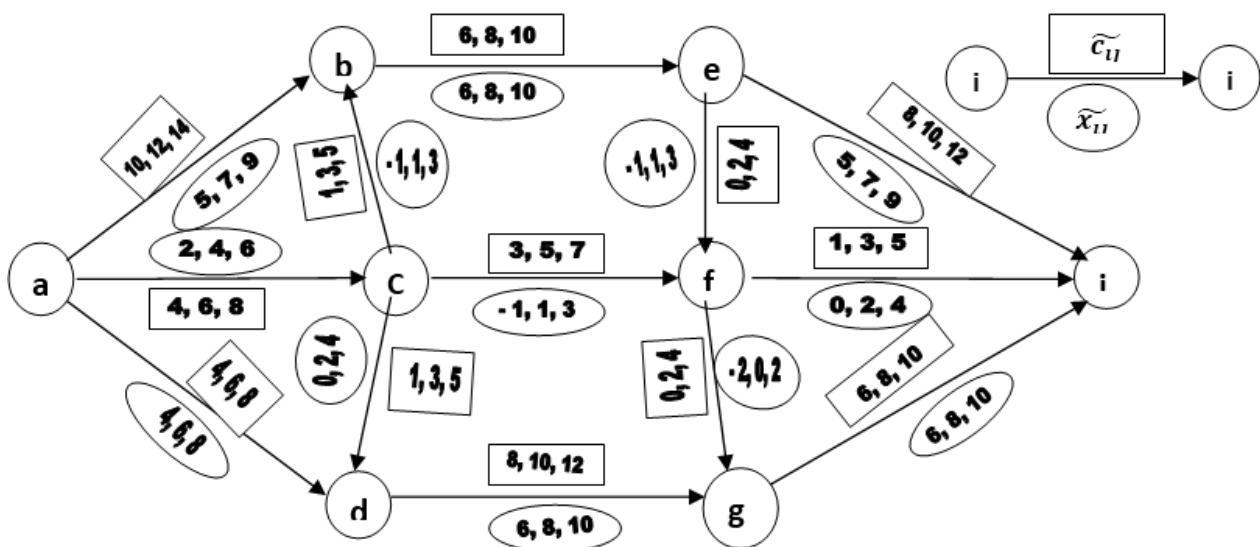


Figure n°1 : Réseau de transport capable de transporter les flots flous

La valeur du flot flou en entré = (11,17, 23)=la valeur du flot flou à la sortie. En chaque nœud du graphe, la somme de valeurs modales entrant= la somme de valeurs modales sortantes .Le principe de conservation de flot flou est respecté. Donc, le réseau en étude peut faire passer le flot flou.

#### Etape 1 : Recherche de flot flou complet :

-Recherche de chemins flous allant de a à i : a-b-e-i, a-c-f-i, a-c-d-g-i, a-c-f-g-i, a-d-g-i : six chemins.

-Détermination de chemins non saturés : un seul : a-c-f-i,

-Le flot en entré n'est pas complet,

-Saturation du chemin a-c-f-i :

a) On calcul le flot flou résiduel sur le chemin non saturé :

$$\tilde{x}_r = \min\{(4,6,8) - (2,4,6), (3,5,7) - (-1,1,3), (2,3,5) - (0,2,4)\}$$

Le calcul se fait par approche des  $\alpha$  – coupes et intervalle proposé par [Mukeba 2016], et en utilisant l'approche max-min pour comparer les nombres flous.

$$\tilde{x}_r = \min\{(-2,2,6), (0,4,8), (-5,1,6)\} = \{(-5,1,6)\}$$

On ajoute à tous les arcs du chemin a-c-f-i, le flot flou résiduel. Le graphe devient donc :

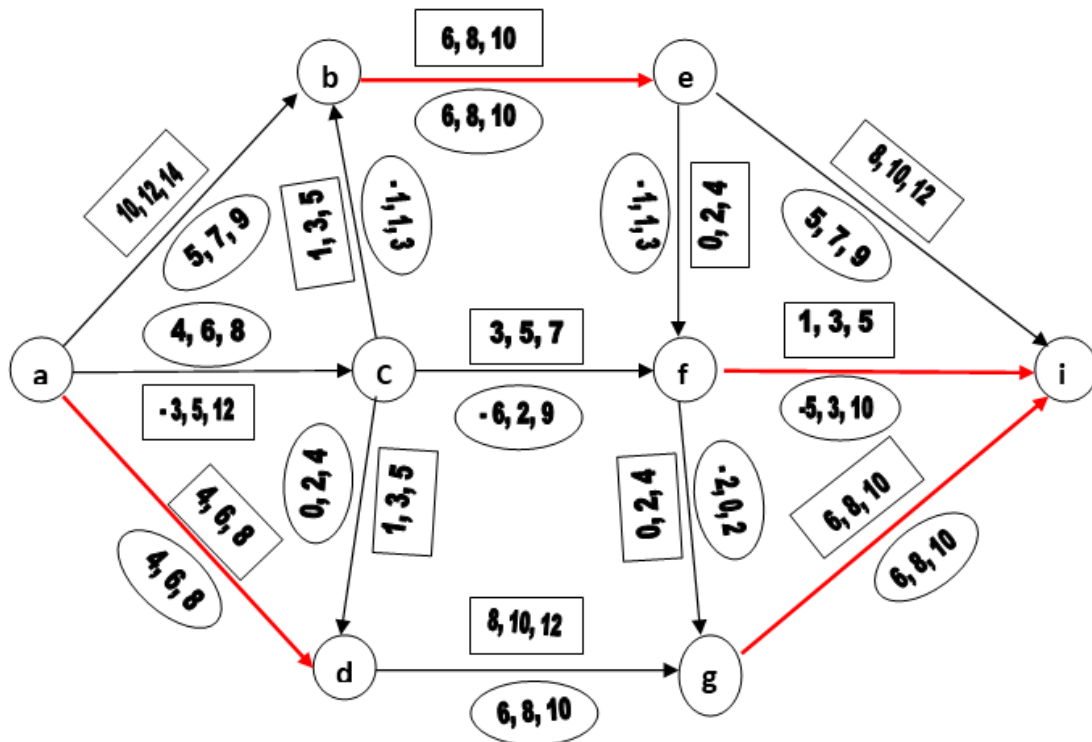


Figure n°2 : Réseau traduisant le flot flou complet

On remarque que la valeur du flot flou en entré=(6,18, 29)= la valeur du flot flou à la sortie.

On constate que tous les chemins allant de a à i sont saturés. Le flot flou est donc complet. Sa valeur est (6, 18, 29). Ce flot flou n'est pas nécessairement maximal.

Etape 2 : construction du graphe résiduel flou : Chemin augmentant et marquage.

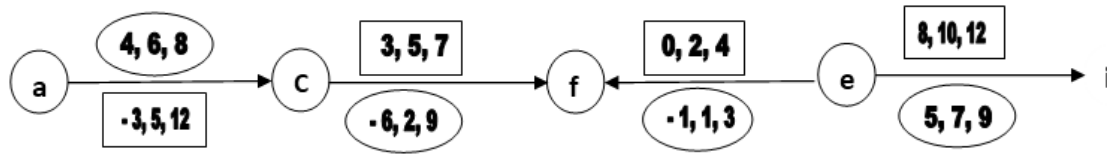


Figure n°3 : chemin à augmenter

Par marquage, nous cherchons le chemin augmentant de a à i.

On marque le nœud a, on écrit :  $a^+$ , puis on marque le nœud C, on écrit :  $c^+$ , on marque ensuite le nœud f, e et on atteint le nœud i, on écrit :  $f^+$ ,  $e^+$  et  $i^+$ .

Le flot flou complet n'est pas le flot flou maximal.

Etape 3 : Détermination du flot flou maximal :

Il s'agit d'améliorer le flot flou du chemin augmentant : a-c-f-e-i.

On calcule le flot flou résiduel du chemin a-c-f-e-i :

$$\tilde{x}_r = \min\{(4,6,8) - (-3,5,12), (3,5,7) - (-6,2,9), (0,2,4) - (-1,1,3), (8,10,12) - (5,7,9)\}$$

$$\tilde{x}_r = \min\{(-8,1,11), (-6,3,13), (-3,1,5), (-1,1,7)\} = \{(-1,1,5)\}$$

Nota : augmenter le flot flou sur l'arc indirect flou f-e signifie réduire. Le chemin devient donc :

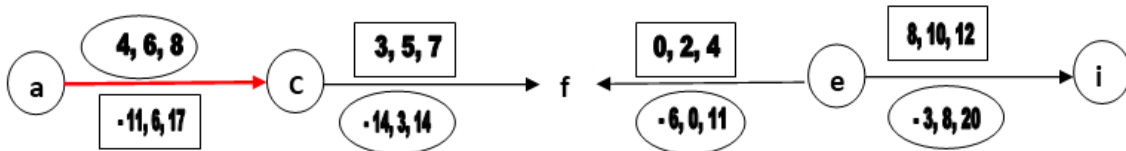


Figure n°4 : Chemin augmentant

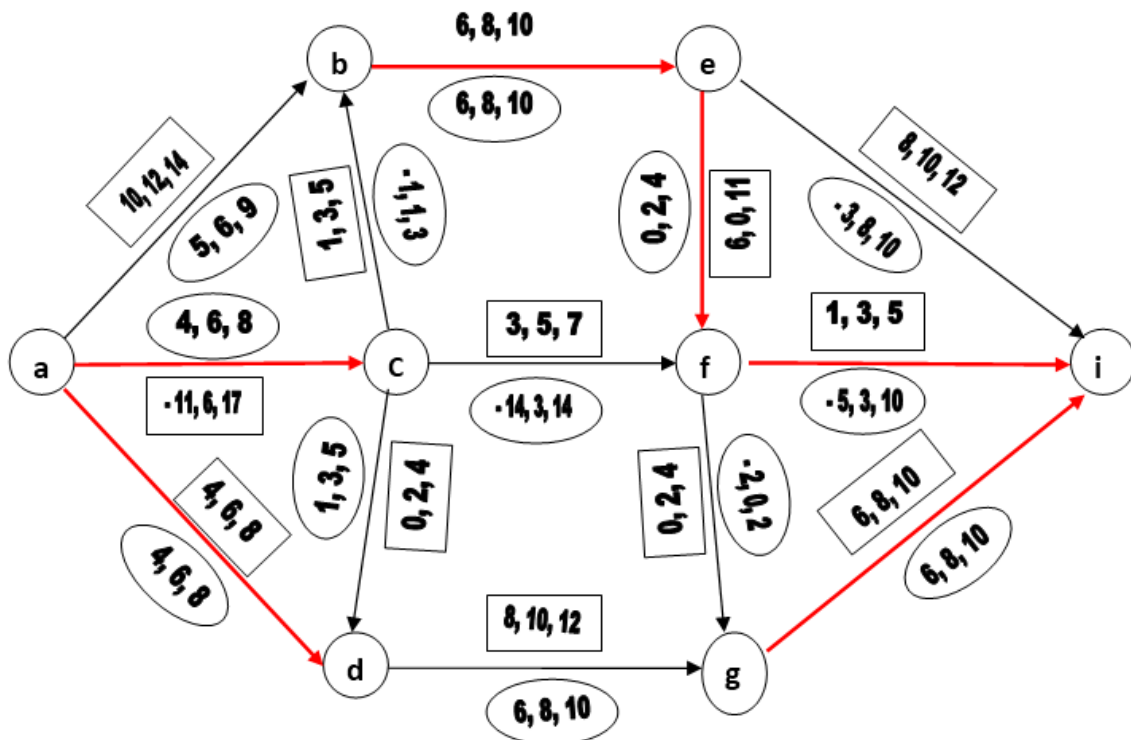


Figure n°5 : Réseau transportant le flot flou maximal

La valeur du flot flou en entré=  $(-2, 19, 34)$ =la valeur du flot flou à la sortie. A chaque nœud, la somme de valeurs centrales du flot entrant égale à la somme de valeurs centrales des flots flous sortants. Le principe de conservation est respecté. Le flot flou maximal est donc  $(-2, 19, 34)$ .

**Interprétation :** le flot qui peut circuler dans ce réseau peut varier entre -2 à 34 c'est-à-dire sa petite valeur ne peut pas être inférieur à -2, sa valeur supérieure ne peut pas excéder à 34. Le flot flou maximal est environ  $(-2, 19, 34)$ .

## 8 CONCLUSION

Cet article propose une variante de l'algorithme de Ford et Fulkerson en environnement flou. Nous l'avons appliqué avec les nombres flous triangulaires. L'introduction des nombres flous dans le calcul de flot maximal redonne à ce problème qui a déjà des nombreuses applications en mode déterministe, son sens réel et colle convenablement avec la réalité. Que les scientifiques élargissent l'horizon sur l'application du multiflot dans un réseau de transport flou, qu'ils généralisent le problème du multiflot flou et qu'ils appliquent le flou au calcul de multicoupe.

## REFERENCES

- [1] Bagherian, M. A Fuzzy Residual Network Approach to Minimum Cost Flow problem with Fuzzy parameters, ARPN Journal of Science and Technology, Vol. 2, No. 10, 2012.
- [2] Bozhenyuk, A., Gerasimenko, E. and Rozenberg, I. The Methods of Maximum Flow and Minimum Cost flow Finding Fuzzy network, a forthcoming article, Russia.
- [3] Dubois, D. and Prade, H. Fuzzy sets and systems: theory and Applications. Academic Press, New York, 1980.
- [4] Kampempe, J.D. Sur la prise en compte de l'imprécision et de l'incertitude en programmation mathématique Multiobjectif, Thèse de Doctorat en sciences mathématiques, Université de Kinshasa, R.D. Congo, 2014
- [5] Kaufmann, A. Introduction à la Théories de Sous-ensembles Flous à l'usage des Ingénieurs, Tome 1, Masson et cie, paris, 1973
- [6] Kumar, A. and Kaur, M. A new Algorithm for Solving network flow problems with fuzzy lengths, Turkish Journal of Fuzzy Systems, vol. 2, No. 1, pp. 1-13, 2013.
- [7] Mamanya Tapasa, F. Etude du Multiflot dans un Réseau de Transport. Cas de la ville province de Kinshasa, mémoire de DEA, Université Pédagogique Nationale, R.D.C, 2012
- [8] Mukeba Kanyinda, J.P. Chaines de Markov Floues et Evaluation des Paramètres de Performance d'un Réseau de Files d'Attente Floues à Forme Produit, thèse de doctorat à l'Université pédagogique Nationale, Kinshasa, 2016.
- [9] Mukeba, J.P. Application of L-R method to single server fuzzy retrial queue with patient customers, Journal of Pure and Applied Mathematics: Advances and Applications, Volume 16, Number I, 2016, Pages 43-59
- [10] Renfrey Potts, Robert. Flows in Transportation Network, Academic Press, New-York and London, 1972.

## ANALYSE DU CADRE DE PILOTAGE DE LA POLITIQUE MONETAIRE EN RDC

### [ ANALYSIS OF THE SETTING OF PILOTING OF THE MONETARY POLITICS IN DRC ]

*Janvier EGUDRA NYADRI and Médard NGUBA MUNDALA*

Faculté des Sciences Economiques et de Gestion,  
Université de Kisangani,  
Kisangani, RD Congo

---

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The monetary politics is one of means of interventions the more used by the public powers in the life economic of the nations. This paper shows indeed, how this politics in DRC contributes to the stability of the funding of the macroeconomic setting in spite of the numerous uncertainties that enameled the environment international financial macro and the pressures on the public expenses. The profile of the economy proved to be dominated by the maintenance to a level satisfactory of its growth under the impulse of the mining production, of the sector of the construction, of the trade of thick and of detail as well as agriculture. indeed, since 2010, the Government and the BCC committed to preserve the stability of the general level of the prices while perpetuating it on the long term. This engagement permitted a backing of conception and setting of the budgetary policies and the realization of all quantitative targets established by the monetary programming, to know the rate of inflation, the monetary stock and the monetary basis to the strict sense as well as the stability of the change market.

**KEYWORDS:** Monetary politics; Economic growth; Internal and external stability; inflation.

**RÉSUMÉ:** La politique monétaire est l'un de moyens d'interventions les plus utilisés par les pouvoirs publics dans la vie économiques des nations. Ce papier montre en effet, comment cette politique en RDC contribue à la stabilité de la consolidation du cadre macroéconomique en dépit des nombreuses incertitudes qui ont émaillé l'environnement macro financier international et les pressions sur les dépenses publiques. Le profil de l'économie s'est révélé dominé par le maintien à un niveau satisfaisant de sa croissance sous l'impulsion de la production minière, du secteur de la construction, du commerce de gros et de détail ainsi que l'agriculture. En effet, depuis 2010, le Gouvernement et la BCC se sont engagés à préserver la stabilité du niveau général des prix en la pérennisant sur le long terme. Cet engagement a permis un renforcement de conception et de mise en œuvre des politiques budgétaires et la réalisation de toutes les cibles quantitatives établies par la programmation monétaire, à savoir le taux d'inflation, le stock monétaire et la base monétaire au sens strict ainsi que la stabilité du marché de change.

**MOTS-CLEFS:** Politique monétaire ; Croissance économique ; Stabilité interne et externe ; inflation.

#### 1 PROBLÉMATIQUE

La politique monétaire est l'action par laquelle l'autorité monétaire, en générale la banque centrale agit sur l'offre de monnaie dans le but de remplir son objectif traditionnel de stabilité des prix, mieux la recherche d'un taux d'inflation faible. Elle tâche également d'atteindre les autres objectifs de la politique économique, qualifié de triangle Keynésien, à savoir : « la croissance, le plein emploi, l'équilibre extérieur ». En ce sens, la politique monétaire se distingue de la politique budgétaire, par le fait qu'elle peut avoir pour objectif de maintenir le taux de change de la monnaie nationale avec une autre monnaie. La

fixité des taux de change peut être obtenue par la banque centrale en vendant et en achetant des devises au jour pour atteindre le taux objectif (Frederick Mishkin, 2004).

Durant des longues années de colonisation, l'organisation du continent Africain était conçue et dirigée d'abord en fonction des intérêts de métropoles. Et la monnaie ne se présentait que comme moyen d'action du pacte colonial. Aujourd'hui, l'Afrique est en pleine mutation structurelle et cherche des structures qui lui conviennent. Ces changements constants trouvent leur signification dans le fait que les Etats indépendants d'Afrique cherchent à organiser souverainement leur propre devenir économique (Bouronnais, 1998).

Plus qu'aucun autre continent, en Afrique, nous assistons à des mutations du système monétaire et financier dû à la « négligence » des Etats dans leurs responsabilités inhérentes à leur souveraineté monétaire (A. Silem et J-M Albertini, 2004). Dans le cas spécifique du Congo, cette évolution a mené à une autre caractéristique de distorsions internes graves qui minent l'économie du pays. Ce faisant, « l'économie de la République démocratique du Congo est le prototype d'une petite économie ouverte en proie, à des fréquents déséquilibres internes et externes ».

La République Démocratique du Congo, comme tout Etat souverain dans le monde, a sa propre monnaie ; le franc congolais. Mis en circulation le 30 juin 1998, et était inscrit dans le cadre d'une réforme monétaire perçue comme indispensable au redressement de l'économie nationale, et le franc congolais devrait être une monnaie forte. Cependant, sitôt sorti, le franc congolais subira une dépréciation vertigineuse faute de : la baisse drastique de la production, le développement de l'économie informelle ; les déficits chroniques du budget de l'Etat, financés essentiellement par l'émission incontrôlée de la monnaie, lesquelles ont occasionné l'hyperinflation dans les années avant 1998 et aggravés la précarité des conditions de vie de la population ; la désarticulation du système des finances et la faillite de plusieurs établissements de crédit, et surtout le non contrôle des crédits accordés à l'économie nationale ; l'éclatement de l'espace monétaire nationale et en fin la multiplicité des taux de change (Rémy k. Katshingu, 1991).

Mais il est difficile ou presque impossible qu'une monnaie puisse sortir indemne des assauts hyperinflationnistes du genre de ceux relevés précédemment en République démocratique du Congo. Tôt ou tard, elle finit par perdre sa crédibilité auprès de sa propre population. Les années récentes ont vu, la politique budgétaire de plusieurs pays perdre son attrait en tant qu'instrument de stabilisation de l'ensemble de l'économie, en raison des doutes quant à la capacité de régler les mesures budgétaires de façon à atteindre le degré de stabilisation souhaité et également du fait des préoccupations relatives aux déficits budgétaires. Il s'ensuit que, depuis quelques années, économistes et hommes politiques recommandent que l'objectif de stabilisation de la production et de l'inflation revienne à la politique monétaire.

Les économistes en sont également venus à prôner plus fermement la stabilité des prix comme principal objectif à long terme d'une banque centrale. C'est ainsi que la Banque Centrale du Congo a pour mission principale de définir et de mettre en œuvre la politique monétaire de la République Démocratique du Congo. Pour remplir sa mission, la Banque Centrale du Congo a mis en place un dispositif général, entre autre, une structure appelée comité de politique monétaire comprenant des membres issus de la Banque Centrale du Congo, mais aussi des experts de la Présidence, de la Primature ainsi que de ministère des Finances et du Budget.

Néanmoins, toute l'économie n'a pas évolué selon les prévisions optimistes des années 1960. Face à ces échecs, les théories du développement ont été revues de multiples fois. La Banque Mondiale et le Fonds Monétaire Internationale ont profondément modifié leur discours à ce propos depuis une quinzaine d'années. Ils y ont introduit les termes de bonne gouvernance, de lutte contre la pauvreté et de stratégie participative, tout en restant très peu explicites sur les mécanismes qui engendrent la pauvreté.

Quelle soit l'époque, les contraintes de la gestion monétaire étaient polarisées autour de trois préoccupations majeures, à savoir : assurer la convertibilité interne et externe de la monnaie, garantir la stabilité de l'unité de compte et surtout encore plus important assurer un niveau satisfaisant de liquidité dans l'économie. Il s'agit ici d'un délicat équilibre à tenir au jour le jour. Ce qui explique en définitive la récurrence des réformes monétaires dans notre pays. De cette manière, l'objectif déclaré de la politique monétaire que mène la Banque Centrale du Congo consisterait à obtenir et à maintenir la stabilité des prix à travers l'ajustement de l'offre de monnaie à sa demande.

Pour mettre en œuvre celle-ci, la Banque Centrale du Congo détermine le cadre de pilotage à travers lequel la politique monétaire sera mise en œuvre au cours de l'année. A partir de ce cadre, elle décide la mesure dans laquelle il convient de réserver ou d'assouplir les conditions monétaires. Par ailleurs, l'un des canaux par lesquels se transmet et s'alimente les chocs d'impulsion monétaire en RDC demeure la dépréciation de sa monnaie nationale, le « Franc congolais ».

En effet, il ressort des analyses effectuées sur l'évolution de la conjoncture en République Démocratique du Congo au cours de ces trois dernières décennies (entre 1970 et 2000), que les épisodes de dépréciations de la monnaie nationale (Zaire,

Nouveau Zaïre et/ou Franc congolais) correspondent très souvent à une accélération du rythme de formation des prix intérieurs, de même que les périodes de fortes tensions inflationnistes se caractérisent également par des pertes de vitesse de la monnaie nationale par rapport aux devises étrangères. Y faisant suite, la présente étude se propose d'analyser l'objectif assigné à la politique de la Banque Centrale du Congo à travers l'examen de ses instruments internes et externes.

## 2 HYPOTHÈSES OU OBJECTIFS

De la même manière qu'indiqué ci-haut, l'objectif de ce papier consiste à analyser les objectifs assignés à la politique de la Banque Centrale du Congo. Pour y parvenir, l'étude part de l'hypothèse selon laquelle, la politique de la Banque Centrale du Congo viserait essentiellement la stabilité des prix intérieurs, et la sauvegarde de la valeur externe de la monnaie nationale suivant l'approche de l'école de Chicago.

## 3 MATÉRIELS ET MÉTHODOLOGIE

La méthode analytique a été convoquée au titre de fil conducteur dans l'élaboration de cette étude, en ce que la vérification de l'hypothèse se réfère des expériences comme dans le domaine et aux théories explicatives en la matière. Elle a été appuyée par la technique documentaire à travers la consultation des ouvrages, articles, condensés et rapports, ainsi que d'autres documents en rapport avec l'étude.

## 4 APPROCHE THÉORIQUE DE L'ÉTUDE

Depuis le 19<sup>ème</sup> Siècle, les objectifs de la politique monétaire font l'objet d'un débat entre différentes écoles, dont : la « Currency school » dirigée par Ricardo, héritière du bullionisme, qui prône un contrôle de la création monétaire par la banque centrale: elle doit être égale ou inférieure à la quantité d'or qu'elle détient pour empêcher l'inflation ; et T. Tooke et sa « Banking school » qui prônent une liberté de cette création monétaire, qui doit dépendre des besoins des agents économiques.

A cet effet, le « Currency School » l'emporte lors du « Banking Act » de 1844, qui requiert aussi de capitaliser les banques. Cette solution profite du boom minier de l'ouest américain, qui rend beaucoup plus abondant les métaux précieux, puis de la montée en puissance des mines d'or sud-africaines. Entre 1920 et 1940, il faut gérer les séquelles de la Première Guerre mondiale. L'Allemagne est entraînée par le Traité de Versailles dans une spirale hyperinflationniste, l'Angleterre se retrouve à la traîne de la forte croissance économique des années 1920, payant le prix d'une politique monétaire restrictive pour retrouver une convertibilité or (Gabriel Galand et Alain Grandjean, 1996).

Entre 1945 et le début des années 1970, le système monétaire international se fonde sur le système de Bretton Woods : taux de change fixes par rapport au dollar des États-Unis, qui s'engagent à assurer la convertibilité de leur monnaie en or, pour les monnaies des pays membres du Fonds monétaire international. A partir du choc pétrolier de 1973, l'explosion du système monétaire et financier mondial s'en est suivi d'une conséquence principale : le point d'ancrage nominal de la politique monétaire devient la stabilité des prix. Une enquête de la banque d'Angleterre sur 94 économies révèle qu'elle est l'objectif principal dans 80 % des cas et dans 26 % des cas l'unique objectif.

### 4.1 LES OBJECTIFS DE LA POLITIQUE MONÉTAIRE

D'après la théorie économique moderne, le but de la banque centrale est de maximiser le bien-être économique des ménages. Ainsi, on attribue généralement deux objectifs principaux à la politique monétaire : la stabilisation des prix et la stimulation de l'activité économique. Ces deux objectifs sont étroitement liés, et non incompatibles comme on pourrait le penser, la stabilité des prix étant un préalable à une activité économique soutenue (Blanchard O. et D. Cohen, 2004).

Cependant, si on admet qu'il n'existe pas d'arbitrage à long terme entre stabilité des prix et activité économique car la monnaie est neutre à long terme (la « Courbe de Phillips » de long terme est verticale), l'unique objectif de long terme de la banque centrale doit être le maintien de la stabilité des prix. Dans cette hypothèse le niveau de croissance potentiel dépendant de facteurs multiples (productivité, stock de capital...) sur lesquels la politique monétaire n'a aucun impact.

### 4.2 LES OUTILS DE LA POLITIQUE MONÉTAIRE

On a l'habitude de distinguer quatre niveaux au sein des dispositifs mis en place par les politiques monétaires : les objectifs finaux, les objectifs intermédiaires, les indicateurs et les instruments :

#### 4.2.1 LES OBJECTIFS FINAUX (OU OBJECTIFS ULTIMES)

Les objectifs finaux sont les buts poursuivis par la politique monétaire (stabilité des prix ou PIB nominal par exemple). La politique monétaire ne peut viser directement ces objectifs car les banques centrales n'ont qu'un contrôle très indirect de ces grandeurs économiques, qui réagissent avec des décalages assez longs et variables aux impulsions de la politique monétaire, et ne sont observées qu'avec un retard important et une périodicité assez espacée.

#### 4.2.2 LES OBJECTIFS INTERMÉDIAIRES

Comme les agrégats de la monnaie ou les taux de change, sont donc mis en place. Ces cibles intermédiaires n'ont pas de valeur en elles-mêmes, si ce n'est leur corrélation avec les buts avec lesquels elles entretiennent une relation causale. Elles sont mieux contrôlables et plus rapidement observées que les objectifs ultimes.

#### 4.2.3 LES INDICATEURS

Les indicateurs avancés sont des variables économiques qui fournissent à la banque centrale de l'information sur l'état de l'économie (typiquement : les pressions ou les anticipations inflationnistes ou bien l'orientation effective de la politique monétaire, le degré de son caractère expansif ou restrictif).

#### 4.2.4 LES INSTRUMENTS

Parfois appelés « objectifs opérationnels », ce sont des variables qui sont directement sous le contrôle de la banque centrale. Le choix des instruments et les règles définies pour les manipuler déterminent la politique monétaire au jour le jour. Il existe deux principaux moyens d'action pour la banque centrale : l'action sur la liquidité bancaire, par laquelle la banque centrale agit sur les banques de second rang en les alimentant plus ou moins en monnaie, et en modifiant le taux des réserves obligatoires ; et l'action sur les taux, où la banque centrale joue sur les trois taux directeurs qu'elle contrôle (taux de facilité de prêt marginal, taux de facilité de dépôt, opérations d'open market pour les économies à large marché financier). Les variations de ces taux modifient le comportement des banques de second rang.

La plupart des banques centrales choisissent le taux d'intérêt à court terme comme instrument. C'est le seul taux qu'une banque centrale peut effectivement contrôler de manière précise. En effet, les actifs de très court terme sont très proches de la monnaie, et la banque centrale a un monopole pour l'émission de monnaie. En contrôlant les taux d'intérêt à court terme, la banque centrale a une forte influence sur l'offre de liquidité. En revanche, au fur et à mesure que la maturité augmente, les taux incorporent les anticipations du marché et échappent ainsi au contrôle de la banque centrale.

L'objectif de stimulation de l'activité économique peut être obtenu dans certains cas par la création de monnaie permanente lorsque celle de monnaie d'endettement ne permet pas d'assurer le maintien du PIB à un niveau adéquat. La politique monétaire peut avoir pour objectif de maintenir le taux de change de la monnaie nationale avec une monnaie ou un panier de monnaies. La fixité des taux de change peut être obtenue par la banque centrale en vendant ou en achetant des devises au jour le jour pour atteindre le taux objectif. D'une certaine manière, la banque centrale renonce à l'indépendance de sa politique monétaire : elle est soumise au triangle des incompatibilités. La Chine, par exemple, a adopté une politique de maintien de la fixité des changes avec un panier de monnaies (F. Mishkin, 2004).

Le « *currency board* » est un autre cas particulier de la fixité des taux de change. Dans ce cas extrême, la banque centrale adosse totalement sa monnaie sur une autre monnaie, généralement le dollar ou une autre monnaie considérée comme stable. La banque centrale conserve une unité de la monnaie d'ancrage pour chaque unité de monnaie nationale en circulation : elle ne dispose plus d'aucune latitude pour mener une politique adaptée aux besoins de l'économie nationale. Cette solution permet d'« importer » la crédibilité de la monnaie étrangère : les *currency board* sont souvent mis en place à la suite d'épisodes d'hyperinflation. Actuellement, Hong Kong et la Bulgarie fonctionnent sous ce régime. L'Argentine a abandonné cette politique à la suite d'une crise monétaire en 2002 (NUBUKPO K, 2003).

#### 4.3 CIBLAGE DE LA CROISSANCE DES AGRÉGATS MONÉTAIRES

A la suite du développement du monétarisme dans les années 1970, certains pays ont adopté une politique monétaire basée sur un ciblage de la croissance des agrégats monétaires. La masse monétaire, dans une optique monétariste, doit croître au même rythme que le produit national. Si la masse monétaire est sous contrôle, alors l'inflation est stable. Cette politique a

été adoptée par Paul Volcker aux États-Unis au début de son mandat, puis a été rapidement abandonnée. Elle est aujourd'hui rarement mise en œuvre : en effet, elle implique mécaniquement une très grande volatilité des taux d'intérêts.

#### 4.3.1 CIBLAGE DE L'INFLATION

Le ciblage de l'inflation est une politique visant à maintenir l'inflation proche d'un objectif. La banque centrale peut définir une cible numérique (par exemple 2 %), une zone d'indifférence (par exemple entre 1 % et 3 %) ou encore une cible entourée d'une certaine marge de fluctuation (par exemple 2 % à  $\pm 1$  %). D'après les défenseurs de cette stratégie, le ciblage d'inflation a plusieurs avantages. Il permet notamment de fixer les anticipations des agents à un niveau relativement bas (proche de la cible), ce qui contribue à assurer la stabilité des prix à moyen-long terme et à limiter la variabilité de l'inflation ; il accroît la transparence de la banque centrale ; il s'agit d'un ciblage flexible, par opposition à un ciblage strict dans lequel les autorités monétaires chercheraient à atteindre leur objectif d'inflation à chaque instant.

Le ciblage d'inflation s'inscrit ainsi dans une logique de « discrétion contrainte ». Depuis la fin des années 1980, un consensus s'est progressivement mis en place en faveur du ciblage de l'inflation, afin de limiter la croissance alors excessive des prix. Selon des économistes reconnus, tel que F. Mishkin ou encore Ben Bernanke cette politique a été couronnée de succès (F. Mishkin, 2004).

A l'heure actuelle, un nombre croissants de pays ont choisi d'adopter une politique monétaire de ciblage de l'inflation : Nouvelle-Zélande, Canada, Royaume-Uni, et plus récemment divers pays d'Amérique du Sud et de nombreux pays d'Europe Centrale et Orientale. Concernant les deux grandes puissances mondiales États-Unis et Union européenne, elles ne pratiquent pas explicitement une politique de ciblage de l'inflation. Toutefois on peut penser que les États-Unis vont se diriger vers ce genre de politique puisque le nouveau gouverneur de la *Fed*, Ben Bernanke, est un grand défenseur des politiques de ciblage de l'inflation.

L'utilisation du ciblage de l'inflation repose sur deux principaux arguments :

- Selon la nouvelle économie classique, les bénéfices retirés d'une politique monétaire expansionniste ne sont que transitoires, alors que les conséquences en termes d'inflation sont durables. Par conséquent, il est approprié de mener des politiques monétaires non inflationnistes. Dans la mesure où un engagement du gouvernement en ce sens n'est pas crédible (puisque non irréversible), il est nécessaire que la banque centrale soit indépendante pour contrer les anticipations inflationnistes. Robert Barro et David Gordon ont montré dans un article de 1982 l'intérêt de l'indépendance pour l'efficacité des politiques monétaires.
- Dans la mesure où les anticipations jouent un rôle fondamental dans la fixation des prix, il est important que la banque centrale soit crédible dans sa volonté de limiter l'inflation. L'utilisation d'une cible d'inflation permet au public de juger simplement l'efficacité des autorités monétaires. La banque centrale, plus crédible, voit l'efficacité de sa politique renforcée. Ce raisonnement liant règles et crédibilité a été développé par Finn E. Kydland et Edward C. Prescott dans un article de 1977 (C. Antonelli, 1995).

Si les banques centrales modernes visent un taux d'inflation bas mais non nul, c'est qu'elles ne peuvent que limiter l'offre de monnaie, et non augmenter l'offre de monnaie quand elle a atteint le niveau minimum. Les consommateurs et les entreprises demandent des prêts à leurs banques, qui elles-mêmes doivent demander de la monnaie à la banque centrale pour respecter les exigences réglementaires en termes de réserve.

La banque centrale a les moyens de limiter la quantité de monnaie banque centrale nouvelle, et de la rendre plus chère en augmentant son taux directeur, et ainsi elle peut limiter l'offre de prêts par les banques. Elle peut rendre cette contrainte plus ou moins forte en jouant sur le niveau de taux et l'émission de monnaie, mais le mieux qu'elle puisse faire c'est de réduire cette contrainte à zéro en offrant gratuitement autant de monnaie que demandée. Si elle essaie d'offrir plus de monnaie banque centrale qu'il n'est demandé, même en payant ses emprunteurs (en appliquant un taux d'intérêt négatif), elle ne fera qu'ouvrir une possibilité de s'enrichir à ses dépens et en toute sécurité en thésaurisant. Cette situation est décrite par l'expression « pousser sur la corde », ce qui n'a aucun effet. La contrainte que peut appliquer la banque centrale n'est pas active et elle ne peut rien diriger. Aussi pour garder leur pouvoir monétaire les banques centrales doivent maintenir leur contrainte active.

## 5 RÉSULTATS DE LA RECHERCHE

### 5.1 CADRE DE PILOTAGE DE LA POLITIQUE DE LA BANQUE CENTRALE DU CONGO

La politique monétaire menée jusque-là par la Banque centrale du Congo, laisse présager une conclusion plus ou moins discutable des objectifs fixés en termes d'expansion monétaire, d'inflation et du taux de change. En effet, malgré les chocs imprévisibles enregistrés en 2009 suite à la crise financière internationale de 2008, l'autorité monétaire a su assumer son indépendance en ne subordonnant pas son action à la réaction de la politique budgétaire qui s'est révélées quelquefois incohérente au cours des années précédentes.

Cette façon de faire a présenté l'avantage de donner des signaux forts aux marchés en rassurant les agents économiques sur la capacité et la volonté de l'autorité monétaire à redresser la situation et a permis par ailleurs, d'établir des responsabilités en dissociant les initiatives monétaires de celles budgétaires.

Théoriquement, le cadre de pilotage de la politique monétaire de la République Démocratique du Congo est constitué de quatre éléments principaux, à savoir les instruments, les objectifs, les stratégies et le dispositif institutionnel. Ainsi au sujet des instruments, l'institut d'émission combine l'utilisation simultanée de trois instruments de la politique monétaire : la modification du taux d'intérêt, la révision du coefficient de la réserve obligatoire et quelquefois les interventions sur le marché de change. En clair, la Banque centrale recourt aussi bien aux instruments indirects que directs. Pour les premiers, il s'agit de l'utilisation du taux d'intérêt portant d'une part, sur les prêts à court terme et des facilités permanentes et d'autre part, le taux d'intérêt portant sur des opérations des billets de trésorerie.

L'objectif poursuivi en cette matière est le maintien de la positivité du taux d'intérêt réel en référence à l'évolution de l'inflation. Le second instrument indirect est le dispositif de réserves obligatoires qui permet à la Banque centrale de renforcer l'efficacité de taux d'intérêt et de créer le besoin structurel de refinancement des banques auprès d'elle-même et influe positivement sur les liquidités et crédits bancaires. De manière pratique, ce coefficient agit sur l'actif et le passif des bilans de banques en imprimant le comportement sur l'évolution des crédits à l'économie et la situation des liquidités des banques. Quant aux instruments directs, ils consistaient, de par le passé, à l'encadrement direct et portaient sur la capacité de refinancement et du plafond de refinancement. Ces plafonds ont disparu avec la suppression de la capacité de financement et sont désormais fonction exclusive de la capacité de la banque créatrice de monnaie à présenter des effets de bon standing.

La Banque centrale du Congo poursuit comme objectif final la stabilité du niveau général des prix. Pour atteindre cet objectif final, l'institut d'émission considère, d'une part, le stock de monnaie (M1) augmenté des dépôts à terme en monnaie nationale comme l'objectif intermédiaire de sa politique monétaire. Et d'autre part, la base monétaire au sens strict est considérée comme l'objectif opératoire. Au sujet de ce dernier objectif, il convient de préciser que les mouvements de la composante circulation fiduciaire sont souvent dictés par les facteurs autonomes de la liquidité, principalement les opérations du trésor en recettes et en dépenses et, subsidiairement, par les retraits des comptes observés lors de la rentrée scolaire et des fêtes de fin d'année.

En outre, la politique monétaire exerce des effets sur cette composante de la base monétaire à travers les ventes des devises qu'effectue la Banque centrale auprès des banques commerciales lorsque les contreparties sont versées en espèces. La composante « avoirs libres » est celle qui est la plus influencée par les inflexions de la politique monétaire à travers les billets de trésorerie.

Hormis les instruments et les objectifs, la Banque centrale recourt à trois stratégies alternatives dans la conduite de sa politique monétaire, il s'agit de la stratégie de la règle qui consiste en l'annonce au préalable des objectifs à atteindre et des mesures à prendre avec engagements fermes, vient ensuite, la stratégie basée sur la discrétion où la Banque centrale traite les problèmes au cas par cas de façon discrétionnaire sans pour autant faire une annonce exploratoire des objectifs poursuivis. Vient enfin, la combinaison de deux premières stratégies par le recours aux règles implicites.

Le dernier élément du cadre de pilotage de la politique monétaire en République démocratique du Congo est le dispositif institutionnel. Le cadre institutionnel de la mise en œuvre de la politique monétaire est l'indépendance de la Banque centrale du Congo lui conférée par le décret-loi n°005/002 du 07 mai 2002. Cette indépendance ne signifie pas, comme d'aucuns le pensent, la déconnexion totale vis-à-vis du gouvernement ou l'indépendance vis-à-vis du gouvernement. Elle signifie tout simplement l'autonomie dont jouit la Banque centrale dans les choix des instruments et la définition des objectifs en vue d'atteindre son objectif final qu'est la stabilité des prix.

D'ailleurs, il convient de préciser qu'en ce qui concerne l'objectif final, il est défini en concertation avec le gouvernement. Néanmoins, cette indépendance permet à la Banque centrale d'observer la règle qu'elle définit et qu'elle entend respecter. Ce

cadre étant clairement défini, nous pouvons à présent apprécier la politique monétaire telle qu'elle est conduite par la Banque centrale du Congo.

## 5.2 FORMULATION ET MISE EN ŒUVRE DE LA POLITIQUE MONÉTAIRE

À l'aube de la fin de la dernière décennie, l'évaluation préliminaire du cadre de pilotage de la politique monétaire a révélé que les disponibilités monétaires et la masse monétaire au sens large se sont chiffrées respectivement à 207.876 millions de francs congolais pour la première et 524.792 millions de francs congolais pour la seconde à fin septembre 2013 contre 211.983 millions et 436.922 millions de francs à fin décembre 2012, respectivement pour les deux agrégats. Soit une diminution de - 1,94% des disponibilités monétaires et un accroissement de la masse monétaire de 20,11% entre décembre 2012 et fin septembre 2013 (BCC, Rapport et condensé 2014).

Cette croissance de la masse monétaire, note la Banque centrale du Congo, est expliquée par l'accroissement conjugué des avoirs intérieurs nets et des avoirs extérieurs nets. Au cours de la même période, le cumul des émissions s'est situé à 87.503 millions de francs contre 61.182 millions à fin décembre 2012, soit un accroissement de 43,02%, justifié par la comptabilisation des billets immédiatement disponibles, des billets en cours de comptage et de ceux impropres à la consommation. En effet, cet accroissement modéré de l'offre de monnaie fait suite d'une part, au respect des objectifs de croissance économique, du taux d'inflation et de change arrêtés respectivement à 6,5%, 12% et à 560 francs congolais le dollar américain à fin décembre 2013 et d'autre part, à une politique désinflationniste amorcée depuis le mois de mars 2013 et qui s'est poursuivie jusqu'à présent au sein de l'économie congolaise, en dépit de deux chocs passagers des prix des produits pétroliers observés au mois de mai et dernièrement au cours du mois de novembre 2013 (BCC, Rapport et condensé 2014).

Ces chocs font suite à la hausse de prix du baril de pétrole qui avoisine actuellement 100 dollars américains sur le marché international, chocs qui ont entraîné plusieurs perturbations au sein de tous les secteurs de l'économie congolaise. Dans le secteur de transport, par exemple, on a enregistré une augmentation de prix de transport tant de personnes que des biens et services, hausse qui s'est répercutée sur l'ensemble des prix de biens de consommations tant importés que produits localement.

Pour contrer les chocs inattendus dans le sens de la hausse ou de la baisse tant de liquidités intérieures globale que des prix, la Banque centrale dispose de trois instruments pour la mise en œuvre de la politique monétaire : le coefficient de réserve obligatoire, le taux d'intérêt tant directeur que sur les billets de trésorerie et les interventions sur le marché de change. Quoique ces instruments soient indirects c'est-à-dire dépendants des forces du marché, ils sont d'habitude déterminés d'une manière discrétionnaire par l'institut d'émission et l'objectif poursuivi est celui d'atteindre la stabilité des prix.

Au sujet du taux directeur, l'objectif poursuivi par la Banque centrale en cette matière est le maintien de la positivité du taux d'intérêt réel. En référence à l'évolution de l'inflation, l'institut d'émission a procédé à trois reprises à sa modification dans le sens de la baisse au cours de onze derniers mois. Au début de l'année, ce taux était de 50% et passe successivement à 40%, 30% pour enfin se situer à 22,5% respectivement au 11 avril ; au 31 mai et 12 juillet 2013. Cette baisse du taux directeur fait suite à la décélération de l'inflation obtenue par des mesures de désinflation amorcées en mars dernier. Pour rappel, le taux directeur joue le rôle central comme instrument de régulation monétaire et de guidage de la politique du crédit à l'économie. Il est, d'ailleurs, le canal de transmission du développement du marché interbancaire et le signal du financement bancaire des investissements. Il est toujours positif et légèrement supérieur de 10% au taux d'inflation objectif (soit 22,5% contre 12% du taux d'inflation objectif).

Comme le précédent, le taux d'intérêt des billets de trésorerie est un taux créditeur des actifs financiers émis par la Banque centrale du Congo en vue de la régulation de la liquidité de l'économie. Les différentes modifications du taux directeur intervenues au cours de l'année ont entraîné ipso facto la modification du taux de refinancement du billet de trésorerie à 28 jours. Il a été ramené au niveau du taux directeur et ce, dans le cadre de la hiérarchisation des taux de la Banque centrale du Congo.

Depuis son lancement en décembre 2002, l'encours du billet de trésorerie est resté positif et va même croissant. Entre fin décembre 2006 jusqu'au 24 octobre 2013, cet encours est passé de 13.061,50 millions de francs à 26.671,00 millions de francs congolais, soit une ponction de la liquidité globale évaluée à 13.609,5 millions de francs congolais, contre de frais financiers de 3.791,00 millions de francs à fin septembre 2013. Il convient de préciser que l'essentiel des souscriptions sont opérées par le débit des comptes des banques créatrices de monnaies en avoirs libres auprès de la Banque centrale du Congo et une infime partie des souscriptions est réalisée en espèces notamment par les particuliers auprès des banques commerciales.

De ce fait, les billets de trésorerie jouent non seulement un rôle important dans la régulation des réserves libres alimentées par les virements du Trésor à plusieurs titres (paie, fournisseurs) mais également ces titres permettent une allocation de

ressources et une réduction de pressions exercées sur la demande des devises souvent pour les motifs de précaution et de spéculation. En définitive, les billets de trésorerie touchent à toutes les composantes de la liquidité (espèces et monnaie scripturales) et constituent ainsi un instrument de régulation de la liquidité globale à la différence des instruments de refinancement. La conjugaison de ces divers instruments a permis de ramener le taux d'inflation de son point le plus haut enregistré à fin février, soit 25,56% à 9,69% à fin octobre 2007 (BCC, Rapport annuel et condensé 2008).

## 6 CONCLUSION

Le caractère proactif de la politique monétaire de la Banque Centrale du Congo menée ces dernières années, fait augurer une conclusion beaucoup plus heureuse des objectifs fixés en termes d'expansion monétaire, d'inflation et du taux de change. Cependant, la défense de la parité et de la convertibilité de la monnaie de la RDC est au centre d'une grande préoccupation de l'autorité monétaire, au même titre que l'objectif de la stabilité des prix intérieurs.

Il ressort de cette réflexion que la politique monétaire contribue à la stabilité de la consolidation du cadre macroéconomique en dépit des nombreuses incertitudes qui ont émaillé l'environnement macro financier international et les pressions sur les dépenses publiques. Dans ce contexte, la BCC a procédé à un assouplissement de sa politique monétaire en baissant son principal taux de base. Le coefficient de réserves obligatoires est demeuré inchangé et la régulation de la liquidité s'est poursuivie via les adjudications des BTR.

Le profil de l'économie a été dominé par le maintien à un niveau satisfaisant de sa croissance sous l'impulsion de la production minière, du secteur de la construction, du commerce de gros et de détail ainsi que l'agriculture. En effet, depuis 2010, le Gouvernement et la BCC se sont engagés à préserver la stabilité du niveau général des prix en la pérennisant sur le long terme. Cet engagement a permis un renforcement de conception et de mise en œuvre des politiques budgétaires et la réalisation de toutes les cibles quantitatives établies par la programmation monétaire, à savoir le taux d'inflation, le stock monétaire et la base monétaire au sens strict ainsi que la stabilité du marché de change.

Ainsi, nous pouvons affirmer que les autorités monétaires de la RDC poursuivent simultanément l'objectif de la stabilité du niveau général des prix et la mission de la défense de la valeur interne et externe de la monnaie nationale. Ces deux objectifs constituent des éléments de politique économique susceptible de renforcer la convergence des politiques macroéconomiques vers les critères quantitatifs du Programme de Coopération Monétaire en Afrique (PCMA). Toutefois, la RDC est caractérisée par un certain nombre des facteurs qui limitent l'efficacité de sa politique monétaire entre autres la faiblesse du système financier en général et du sous-développement des marchés des capitaux.

A cet effet, la RDC a intérêt de promouvoir le développement des marchés monétaires et des capitaux en vue de les rendre plus profonds et plus compétitifs pour que le maniement des instruments de la politique monétaire influe sur les taux du marché et le crédit au secteur privé.

En ce qui concerne le développement social, la RDC demeure encore l'un des pays les plus pauvres du monde malgré les progrès réalisés au plan économique. En effet, la croissance économique ne s'accompagne pas d'une amélioration substantielle des conditions de vie de la population. Pourtant, la variation du taux de chômage devrait être égale à l'opposé du taux de croissance de la production. A ce sujet, la BCC doit envisager des mesures monétaires de lutte contre le chômage pour accélérer le retour à l'équilibre de plein emploi. Le Revenu National Brut par Habitant (RNB) de la RDC demeure 7 fois moins que la moyenne de l'Afrique subsaharienne. Il y a donc nécessité de promouvoir des mécanismes cohérents de redistribution des revenus et d'accroître le niveau de transformations économiques ainsi que les dépenses à caractère social.

## REFERENCES

- [1] Banque Centrale du Congo, *Rapport Annuel 2010* ;
- [2] Banque Centrale du Congo, *Rapport Annuel 2011* ;
- [3] Banque Centrale du Congo, *Rapport sur la politique monétaire en 2011, n°003, Février 2012* ;
- [4] Banque Centrale du Congo, *Rapport sur la politique monétaire en 2012, n°005, Février 2013*.
- [5] BIKAI J.L et KAMGNA Y.S., *Effets de seuils de l'inflation sur l'activité économique en CEMAC : analyse par un modèle de panel à seuil non dynamique, Yaoundé, 2011* ;
- [6] Blanchard O. et D. Cohen, *Macroéconomie*, Paris, Pearson Education, 3<sup>e</sup> édition, 2004, page 208 ;
- [7] Loi n°005/2002 du 7 Mai 2002 relative à la constitution, à l'organisation et au fonctionnement de la Banque Centrale du Congo ;
- [8] LOMBOTO ELUMBU S-N., *Incidence de la Politique monétaire de la Banque Centrale sur le taux d'inflation en RDC : instruments, mise en œuvre et résultats* ;

- [9] Mishkin F. e. a, *Monnaie, banque et marchés financiers*, Paris, Pearson Education, 7<sup>e</sup> édition, 2004, page 516 ;
- [10] NGUBA MUNDALA, *Séminaire de Macroéconomie approfondie*, cours inédit,
- [11] NKOO, *Séminaire de Questions approfondies de Politique monétaire*, cours
- [12] NUBUKPO K., *L'efficacité de la Politique monétaire de la Banque Centrale des Etats de l'Afrique de l'Ouest depuis la libération de 1989*, CIRAD, France, Novembre 2003.

## Commercialisation et valeur nutritive des fourrages dans les centres urbains au Niger : cas des villes de Maradi et de Niamey

### [ Forages trade and nutritive value in urban centers in Niger : Maradi and Niamey cities cases ]

*Abdou Dan Gomma<sup>1</sup>, Issa Chaibou<sup>2</sup>, Maxime Banoïn<sup>3</sup>, and Eva Schlecht<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Département Productions Animales, Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN), BP 429 Niamey, Niger

<sup>2</sup>Département Sciences et Techniques de l'Élevage, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, BP 465 Maradi, Niger

<sup>3</sup>Département Productions Animales, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, BP 10960 Niamey, Niger

<sup>4</sup>University of Kassel and Georg-August Universität, Germany

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** L'étude a été conduite pendant 3 ans à Maradi et à Niamey. Elle vise à connaître les caractéristiques du système d'approvisionnement en fourrages des élevages urbains et périurbains. Un suivi périodique a été effectué sur 13 axes routiers et 22 points de vente des fourrages au niveau des 2 villes. Les enquêtes saisonnières auprès de 174 acteurs portant sur les caractéristiques des fourrages, ont été conduites. L'analyse bromatologique des 16 échantillons de fourrages prélevés sur les marchés, a été faite. L'analyse multi-variée des données a été réalisée avec le logiciel SPSS 10. Les résultats ont montré que les fourrages commercialisés proviennent des champs, des périmètres irrigués, des vallées, des plateaux, des jachères et des enclaves pastorales. Ils appartiennent à 34 espèces réparties en 14 familles dont les Poaceae (41,1%), des Fabaceae (14,7%), des Mimonaceae (9%), Ceasalpinaceae (6%) et 29% pour les 10 familles restantes. Les résidus de cultures ont constitué 48% à Niamey et 55% à Maradi des fourrages vendus. Les principaux acteurs de la chaîne de valeur fourrages sont: producteurs, collecteurs, vendeurs, transporteurs et acheteurs (éleveurs, détaillants, unités aliments/bétail). La vente des fourrages est pratiquée par les hommes adultes ( $84 \pm 1,4\%$ ), les adolescents ( $12,5 \pm 0,71\%$ ) et les femmes ( $3,5 \pm 0,71\%$ ). Les fourrages riches en azote ( $\text{MAT} \geq 8\%$ ) sont les plus chers. La récolte et la vente des fourrages sont des activités créatrices d'emploi et génératrices de revenus substantiels mais représentent à long terme une sérieuse menace pour l'équilibre agro-écologique des systèmes de production et de l'environnement périurbain.

**MOTS-CLEFS:** Fourrages; valeur nutritive; commerce; Zone périurbaine, Niger.

**ABSTRACT:** The study was conducted for 3 years in Maradi and Niamey. It aims at understanding the characteristics of the fodder supply system of urban and suburban livestock farms. Periodic monitoring was carried out on 13 roads and 22 outlets of forage at the level of the two cities. Seasonal surveys of 174 actors on forage characteristics were carried out. The bromatological analysis of the 16 forage samples taken from the markets was done. The multivariate analysis of the data was carried out using SPSS 10 software. The results showed that the forages marketed come from fields, irrigated perimeters, valleys, plateau, fallow land and pastoral enclaves. They belong to 34 species divided into 14 families, including Poaceae (41.1%), Fabaceae (14.7%), Mimonaceae (9%), Ceasalpinaceae (6%) and 29% for the remaining 10 families. The crop residues accounted for 48% in Niamey and 55% in Maradi for fodder sold. The main players in the forage value chain are producers, collectors, sellers, transporters and buyers (breeders, retailers, animal feed units). The sale of fodder is practiced by adult males

( $84\pm 1.4\%$ ), adolescents ( $12.5\pm 0.71\%$ ) and women ( $3.5\pm 0.71\%$ ). Fodder rich in nitrogen ( $\text{MAT} \geq 8\%$ ) is the most expensive. The harvesting and sale of fodder crops are employment-generating and income-generating activities, but in the long term they represent a serious threat to the agro-ecological balance of production systems and the suburban environment.

**KEYWORDS:** Forages, nutritive value, trade, suburban areas, Niger.

## 1 INTRODUCTION

Dans les pays du Sahel, la population vit essentiellement de l'agriculture et de l'élevage dont la productivité est dépendante des aléas climatiques, de la fertilité des sols, de la disponibilité des terres et de l'eau. Face à une demande croissante de nourritures liées à une démographie galopante et à l'urbanisation, les systèmes actuels de production s'avèrent peu efficaces. La tendance à l'intensification du secteur primaire rend les exploitations agricoles dépendantes des marchés pour l'acquisition des intrants agricoles, zootechniques et vétérinaires, et l'écoulement de la production. En zones urbaine et périurbaine, les terres qui sont les premiers facteurs de production primaire, s'amenuisent progressivement [1]. L'agriculture urbaine est définie en Afrique comme une variété d'activités agricoles et pastorales pouvant prendre place dans les limites ou en périphérie des agglomérations urbaines. L'agriculture urbaine contribue à l'autosuffisance alimentaires des pays d'Afrique occidentale [2]. Pour satisfaire la demande en nourritures des populations citadines, l'agriculture et l'élevage périurbains connaissent un essor important ces dernières années. En zones urbaine et périurbaine, les ressources naturelles subissent une forte pression de l'extension des habitations, des exploitations agricoles et au développement des élevages périurbains [3]. Au Niger, l'agriculture urbaine en général et les élevages urbain et périurbain en particulier utilisent comme source d'alimentation du bétail : le pâturage naturel, les résidus de cultures, les fourrages cultivés et les ligneux fourragers pour l'essentiel achetés sur les marchés [4]. Dans la perspective d'accroître les productions agricoles et pastorales ainsi que leur disponibilité sur les marchés de grande consommation, la présente étude vise à : a) connaître le système d'approvisionnement en fourrages des élevages urbains et périurbains pour améliorer la disponibilité des produits animaux; b) déterminer les principaux fourrages commercialisés dans les centres urbains; c) évaluer la relation prix et valeurs nutritives des fourrages et la rentabilité de la vente des fourrages; d) identifier les contraintes et opportunités de la commercialisation des fourrages en milieu urbain et e) proposer des solutions pour rendre les fourragères disponibles et plus accessibles aux petits éleveurs.

## 2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1 SITES DE L'ÉTUDE

L'étude a été conduite d'avril 2013 à juin 2016 à Maradi ( $13^{\circ}30'00''\text{Nord}$ ;  $7^{\circ}06'06''\text{Est}$ ;  $\text{Alt}=360\text{m}$ ) et Niamey ( $13^{\circ}30'49''\text{Nord}$ ;  $2^{\circ}6'35''\text{Est}$ ;  $\text{Alt}=206\text{m}$ ), ces 2 villes situées en zone agricole du Niger. Le climat est de type sahélien caractérisé par une longue saison sèche (7 à 8 mois) et une courte saison des pluies (4 à 5 mois). La pluviosité moyenne annuelle est de 507 mm (Maradi) et 530 mm (Niamey).

En 2012, la population était de 267249 habitants à Maradi et 1026848 habitants à Niamey, soient 1 294 097 habitants pour les 2 villes. Elles étaient les plus urbanisées du Niger avec des taux d'urbanisation de 39,4% pour Niamey et 13,3% pour Maradi [5].

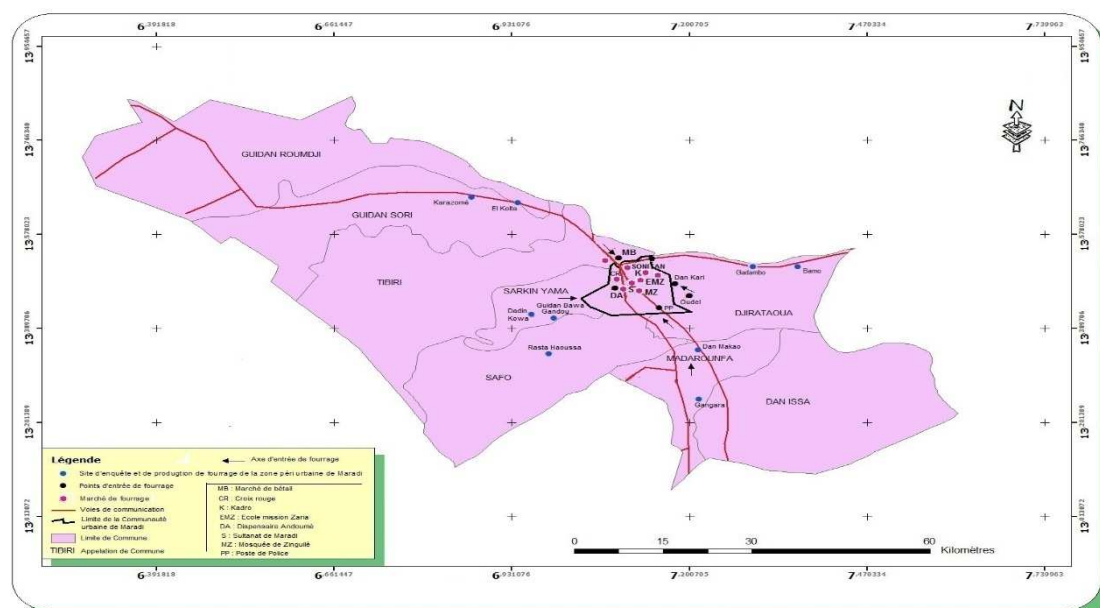


Figure 1: Sites d'enquête, de production et points de vente de fourrages à Maradi et sa zone périurbaine

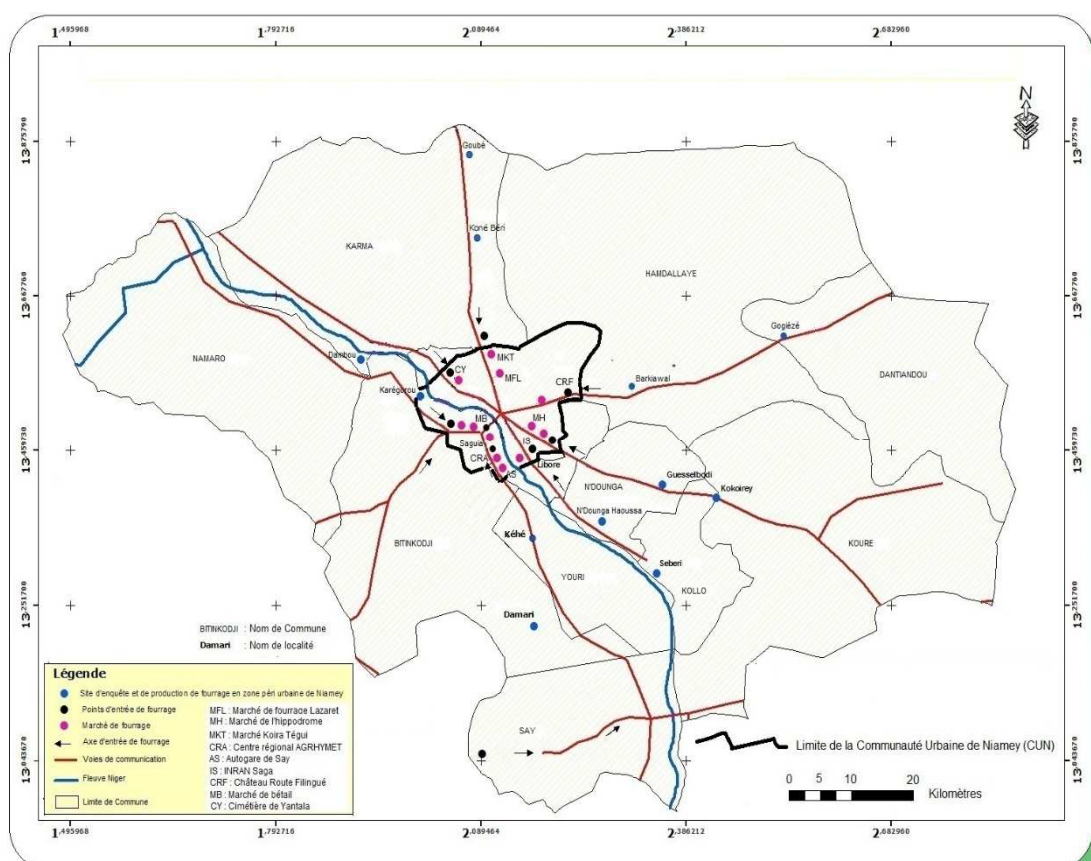


Figure 2: Sites d'enquête, de production et points vente de fourrages à Niamey et sa zone périurbaine

Dans les 2 zones d'étude, 26 sites de production de fourrages dont 14 à Niamey et 12 à Maradi, ont été échantillonnés et suivis pendant les enquêtes. Ces sites situés sur un rayon de 50 km autour des 2 villes sur les grands axes, contribuaient à approvisionner des élevages urbains et périurbains en fourrages constitués essentiellement des résidus de cultures, fourrages cultivés, les herbes naturelles, de pailles de brousse et des ligneux fourragers (figures 1 et 2).

Dans ces 2 villes, les principales activités sont l'agriculture, l'élevage et le commerce. Parmi le commerce exercé en milieu urbain, la vente des fourrages constitue une activité génératrice de revenu pour les résidents et les saisonniers. Dans ces 2 villes à l'image du Niger, l'élevage occupe une place très importante dans la sécurité alimentaire et le revenu des ménages. Maradi et Niamey constituent aussi des importants marchés de bétail pour la consommation locale et pour l'exportation des animaux sur pieds. En 2014, les effectifs du cheptel de ces 2 communautés urbaines étaient respectivement 5092300 têtes (1614894,4 UBT) pour Maradi et 253 425 têtes (95703 UBT) pour Niamey[6]. L'élevage urbain et périurbain concernait toutes les productions animales avec l'émergence des fermes laitières, l'embouche des ruminants et les animaux de bat (chevaux, camélins) et de trait (asins, bovins).

## 2.2 COLLECTE DES DONNÉES

Le suivi des marchés des fourrages a été effectué à Maradi et à Niamey durant 3 ans (avril 2013 à mai 2016) et pendant les 3 saisons (saison sèche froide ; saison sèche chaude, saison des pluies) de chaque année. Il avait consisté à effectuer des enquêtes périodiques au niveau des points de vente des fourrages suivis totalisant 174 vendeurs dont 116 à Niamey et 58 à Maradi. Pour chaque saison, 3 passages par point de vente ont été réalisés. Au total, 22 points de vente géo référenciés ont été suivis dont 13 dans les 5 arrondissements communaux de Niamey (Niamey1; Niamey 2; Niamey 3, Niamey 4 et Niamey 5) et 9 dans 3 communes de Maradi (Maradi1; Maradi 2 et Maradi 3). Au cours des passages par saison, les enquêtes ont consisté à administrer les questionnaires sur le statut du vendeur, la provenance, type de fourrages commercialisés, la quantité de stock de fourrage, le volume de vente quotidienne par type de fourrage/point de vente/ vendeur, le revenu tiré, le type de conditionnement, le poids et le prix de l'unité locale de fourrages commercialisés. Pendant les enquêtes, les acheteurs rencontrés ont été interviewés sur la destination de fourrages achetés. Aussi, l'inventaire des espèces présentes dans les fourrages vendus sur les marchés et au niveau des sites de production, a été réalisé. 13 principaux axes de provenance des fourrages commercialisés ont été déterminés avec les vendeurs lors du premier passage d'enquête. Ainsi 6 axes ont été suivis à Maradi (Guidan Roumdji, Tchadouwa, Dan Kari, Dan Issa, Djirataoua, Safo) et 7 axes à Niamey (Kollo, Say, Torodi, Karma, Simiri, Hamdalaye, Dosso). Des prélèvements des échantillons ont été effectués pendant les enquêtes pour la caractérisation chimique et la détermination des valeurs nutritives des fourrages commercialisés au Laboratoire d'Alimentation et de Nutrition Animales (LANA) de l'INRAN. Pour les analyses au laboratoire, des échantillons composites ont été constitués par type de fourrage. Les prix du kg de fourrages bruts et de la matière sèche ont été calculés pour les principaux fourrages commercialisés dans les 2 villes pendant les 3 saisons des 3 années de l'étude (2013; 2014 et 2015).

Le matériel de pesée était constitué d'un peson électronique de portée 40 kg pour les conditionnements légers des fourrages et un peson de 100kg pour les conditionnements lourds. Un GPS(global positioning system) de marque *Garmin 12* a été utilisé pour géo-référencier les différents sites de production et points de vente des fourrages. L'estimation la vente quotidienne par type de fourrage et par vendeur, a été faite en demandant à ce dernier la quantité vendue par catégorie de fourrage par période (jour ou semaine). Les prix d'achat, de vente et le bénéfice par kg de fourrage ont été calculés et soumis aux analyses descriptive et multi-variée pour avoir les moyennes des facteurs de variation de prix et leurs interactions. La comparaison des moyennes a été faite avec le test de Duncan pour les prix des fourrages commercialisés. Seuls les fourrages rencontrés au moins pendant 2 saisons de l'année, ont été considérés dans le calcul du bénéfice par kg. Les quantités vendues par type de fourrage, par jour et par vendeur ont été déterminées sur la base de la déclaration des commerçants de fourrages.

Les échantillons de fourrages prélevés sur les différents points de vente ont été analysés au LANA pour la détermination des constituants suivants : matière sèche ; matière minérale; cellulose brute; matière azotée totale et l'extrait éthéré. Les échantillons analysés sont issus des échantillons composites par type de fourrage en 3 répétitions pendant les 3 années de l'étude. La teneur en matière azotée digestible (M.A.D.) des fourrages, a été calculée à partir des résultats de l'analyse chimique et au moyen de l'équation suivante définie par l'Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire Tropicale (I.E.M.V.T.): **MAD= 0,896MAT-2,33±0,275** avec  $r=0,98$  et MAD et MAT en % de matière sèche [7] (R. Rivière, 1988).

Les données sur le prix et le bénéfice par kg de fourrages ont été saisies en EXCEL et analysées avec le logiciel SPSS 10 pour les analyses descriptives et multi-variées des prix des fourrages dans les 2 sites par période.

## 3 RÉSULTATS

### 3.1 PROVENANCE DES FOURRAGES COMMERCIALISÉS EN VILLE

Les sites d'enquête situés sur un rayon de 50 km au tour des 2 villes sur les grands axes, contribuaient à approvisionner des élevages urbains et périurbains en fourrages constitués essentiellement des résidus de cultures, fourrages cultivés, les herbes naturelles, de pailles de brousse et des ligneux fourragers (figures 1 et 2). Les fourrages commercialisés provenaient

essentiellement des champs de cultures, des périmètres irrigués, des jachères, des vallées, des enclaves pastorales, des plateaux et des abords des cours d'eau. Les fanes d'arachide, de niébé, le Bourgou et les herbes naturelles sont vendues à l'état frais et/ou sous forme de foin tandis que les tiges des céréales cultivées sont commercialisées à l'état sec. Les principaux sites de production et de commercialisation des fourrages commercialisés en zones urbaine et périurbaines de Maradi et de Niamey sont rapportés sur les figures 1 et 2.

### 3.2 CARACTERISTIQUES SOCIO-ECONOMIQUES DES ACTEURS DE LA CHAÎNE DE VALEUR FOURRAGES

Les résultats des enquêtes menées sur les sites de production et de commercialisation des fourrages, ont permis d'identifier les principaux acteurs de la chaîne de valeur fourrages, qui étaient : les Producteurs (agriculteurs périurbains, collecteurs), collecteurs/vendeurs (récolteurs, cueilleurs), vendeurs grossistes et détaillants (acheteurs en gros), transporteurs (prestataires de service de transport), intermédiaires (facilitateurs des transactions commerciales et de transport) et clients (éleveurs, vendeurs détaillants, unités aliments/bétail).

Sur les 116 vendeurs enquêtés à Niamey, ils étaient de 83% des hommes adultes chefs de ménages de plus 18 ans; 13% des adolescents âgés de moins de 18 ans et 4% des femmes alors qu'à Maradi sur les 58 vendeurs de fourrages recensés étaient 85% des hommes, 12% des garçons et 3% des femmes.

Pour commerçants de fourrages enquêtés à Maradi et à Niamey, la vente des fourrages constituait la principale activité permanente pour 25% de vendeurs; la deuxième activité après l'agriculture pour 63% et une activité saisonnière pour 12%.

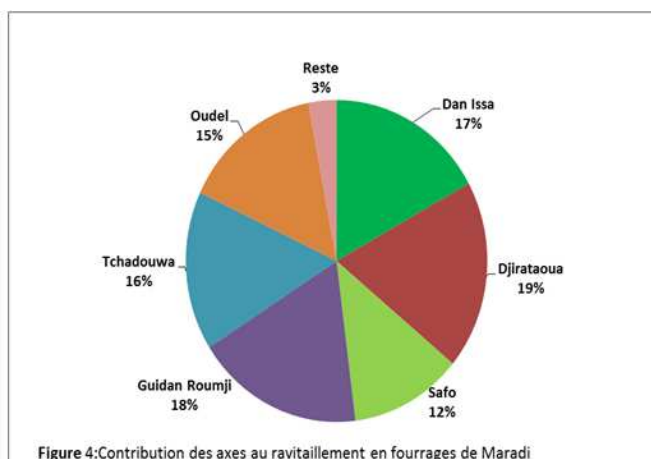
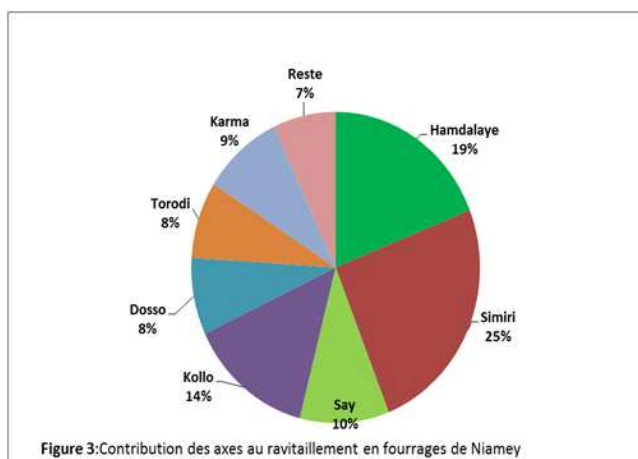
Dans les villes, la vente des fourrages est une activité commerciale exercée par plusieurs groupes ethnolinguistiques du Niger avec une prédominance régionale de l'ethnie majoritaire. A Niamey, ce commerce est détenu à 63 % par le Djerma de Zarmaganda, à 26% par les Haoussa originaires de Maradi, 7% par les Peulhs et 4% par les Touaregs. A Maradi, cette activité est pratiquée par 72% des Haoussa, 15% par les Peulhs et 13% par les Touaregs.

Dans les 2 centres urbains étudiés (Maradi, Niamey), les principaux axes identifiés d'approvisionnement en fourrages ont des contributions variées allant de 8 à 28% (**figures 3 et 4**). A Maradi, la contribution des 6 axes suivis variaient de 12 à 19% tandis qu'à Niamey, les axes de Simiri, Hamdalaye et Kollo fournissent à eux seuls 58% du ravitaillement en divers fourrages de Niamey contre 36% pour les 4 autres axes. La fane d'arachide vendue à Niamey, était à 66% en provenance de Maradi, 21% de Douthi et 13% de Say. Ce résidu de récolte était le seul fourrage importé des contrées lointaines de Niamey avec l'usage des véhicules comme moyen de transport.

### 3.3 AXES ET CIRCUITS D'APPROVISIONNEMENT EN FOURRAGES

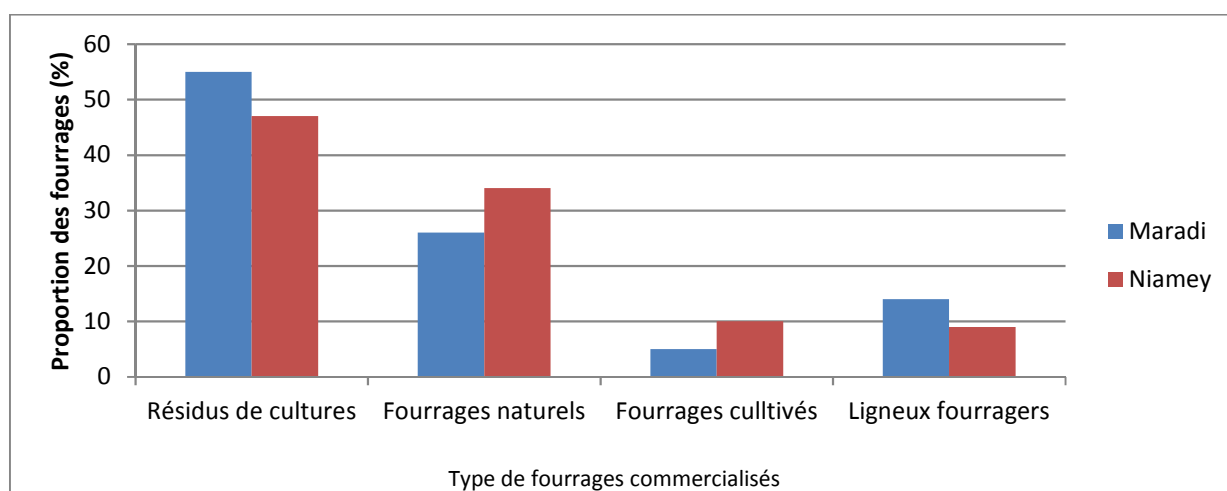
Les fourrages commercialisés provenaient essentiellement des champs de cultures, des périmètres irrigués, des jachères, des vallées, des enclaves pastorales, des plateaux et des abords des cours d'eau. Les fanes d'arachide, de niébé, le Bourgou et les herbes naturelles sont vendues à l'état frais et/ou sous forme de foin tandis que les tiges des céréales cultivées sont commercialisées à l'état sec. Les principaux sites de production et de commercialisation des fourrages commercialisés en zones urbaine et périurbaines de Maradi et de Niamey sont consignés sur les figures 1 et 2.

Les principaux axes identifiés d'approvisionnement en fourrages ont des contributions de 8 à 28%. A Maradi, la contribution des 6 axes suivis varient de 12 à 19% (figure 3) tandis qu'à Niamey, les axes de Simiri, Hamdalaye et Kollo fournissent à eux seuls 58% du ravitaillement en divers fourrages de Niamey contre 36% pour les 4 autres axes (figure 4).



### 3.4 TYPES DE FOURRAGES ET ESPECES FOURRAGERES COMMERCIALISEES

Les 4 types de fourrages commercialisés dans les villes provenaient pour l'essentiel des champs de cultures, des jachères, des périmètres irrigués, des vallées et des brousses périurbaines (figure 5). Dans les 2 zones, les résidus de cultures constituaient la principale source d'affouragement des élevages urbains et périurbains. Parmi ces sous-produits agricoles, les fanes d'arachide et de niébé, les tiges et la paille de riz sont les plus commercialisés en ville et occupent le premier rang comme source d'alimentation des herbivores domestiques. A Maradi, la contribution de 55% des résidus de cultures dans les fourrages commercialisés, était supérieure à 47% pour Niamey. Par contre, la part de fourrages naturels était plus élevée que celle de Maradi. Les ligneux représentaient la troisième source d'affouragement à Maradi alors qu'à Niamey ils occupent la quatrième place. La proportion des fourrages cultivés à Niamey est le double de celle obtenue à Maradi. La fane d'arachide vendue à Niamey, est à 66% en provenance de Maradi, 21% de Doutchi et 13% de Say. Ce résidu de récolte était le seul fourrage importé des contrées lointaines de Niamey avec l'usage des véhicules comme moyen de transport.



**Figure 5: Proportions de différents fourrages vendus à Maradi et à Niamey**

Pour les 2 villes localisées en zone agricole du Niger, les résidus de cultures constituent la principale source d'alimentation des animaux en toute saison. La figure 6 donne les proportions de différents résidus de cultures commercialisés à Maradi et à Niamey.

La fane d'arachide et les tiges étaient les résidus de cultures les plus commercialisés à Maradi avec 42% chacun suivis de la fane de niébé avec 9% (figure 6). Les autres résidus étaient constitués pour l'essentiel de cosse de niébé, des feuilles fraîches de patate douce, les glumes de mil et de sorgho. A Niamey, les fourrages les plus abondants sur le marché sont la paille de riz, les fanes de niébé et d'arachide avec respectivement 34; 28 et 19% de contribution à l'approvisionnement en fourrages. Les tiges (mil, sorgho) ont une proportion de 11% dans les fourrages vendus à Niamey. La paille de riz est l'unique résidu de cultures vendu à Niamey mais absent sur les marchés de Maradi. En outre, la fane de niébé qui occupait le deuxième rang sur les marchés de Niamey représentait moins de 10% des résidus de cultures vendus à Maradi.

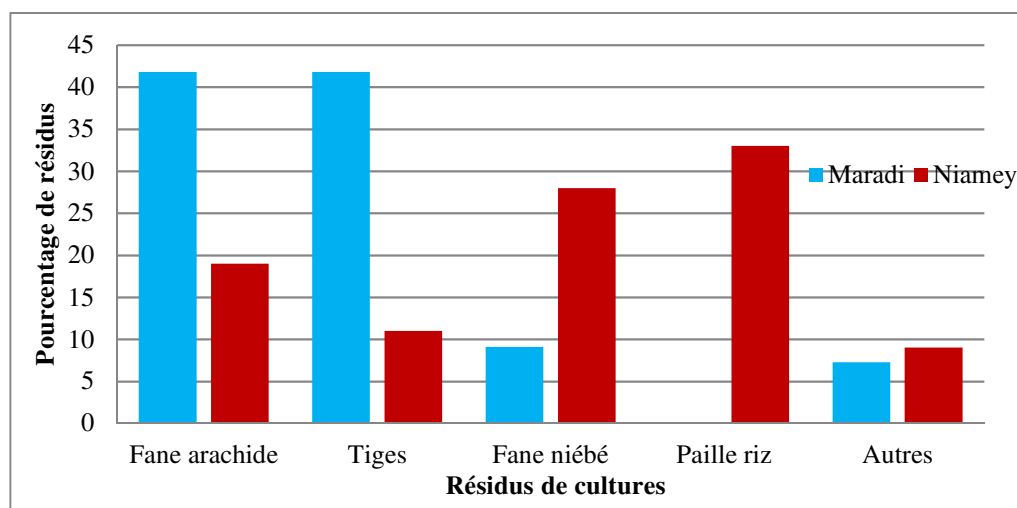


Figure 6: Proportion des principaux résidus commercialisés à Maradi et à Niamey

### 3.5 ESPÈCES FOURRAGÈRES COMMERCIALISÉES

34 espèces fourragères relevant de 14 familles botaniques font l'objet de commercialisation à Maradi et à Niamey. Ces espèces comprennent des herbacées annuelles spontanées (44,1%), des herbacées annuelles cultivées (29,4%), des espèces vivaces (3%) et des ligneux fourragers (23,5%). L'inventaire des espèces commercialisées a montré la prédominance des Poaceae (41,1%), des Fabaceae (14,7%), des Mimosaceae (9%), Caealpiniaceae (6%) et les 10 autres familles ne représentent que 29,4% des espèces présentes sur les marchés des fourrages (tableau 1).

Les résidus de cultures les plus commercialisés sur les marchés étaient les fanes d'arachide et de niébé; la paille de riz et les tiges de mil. Les fourrages secs de diverses herbacées naturelles sont commercialisés plus à Niamey qu'à Maradi où seules *Eragostis tremula*, *Alysicarpus ovalifolius*, *Cenchrus biflorus* et *Andropogon gayanus*, sont vendues sous forme de foin ou paille. A Niamey, en plus des résidus de cultures, les fourrages naturels (paille de brousse, herbe fraîche et *Zornia glochidiata*) sont très fréquents sur les marchés de fourrages. La paille de riz et *Echinochloa stagnina* étaient les seuls fourrages commercialisés à Niamey et qui ne le sont pas à Maradi où la fane de dolique est présente sur les marchés (tableau 1).

La plupart des herbacées naturelles spontanées sont commercialisées à l'état frais pendant les saisons des pluies et sèche froide. Les fourrages secs vendus sont constitués des résidus de cultures, des fourrages cultivés, fourrages naturels et les ligneux fourragers en toute saison.

Les fourrages sont vendus sous plusieurs types de conditionnements en sac (fanés, herbes naturelles, ligneux), en botte (fane de niébé, pailles, herbes naturelles), en tas (fane d'arachide, gousses, herbes) et en tia (gousses, feuilles ligneux).

**Tableau 1 : Type de fourrages et principales espèces fourragères commercialisés à Maradi et à Niamey par saison de disponibilité de 2013 à 2016**

| Type de fourrage   | Nom scientifique de l'espèce      | Nom de la famille Botanique | Catégories des plantes      | Période de disponibilité dans l'année |                   |                     |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------|---------------------|
|                    |                                   |                             |                             | Saison sèche chaude                   | Saison des pluies | Saison sèche froide |
| Résidus de culture | <i>Arachis hypogea</i>            | <i>Cesalpiniaceae</i>       | Herbacée annuelle cultivée  | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Hibiscus sabdariffa</i>        | <i>Malvaceae</i>            | Herbacée annuelle cultivée  | x                                     |                   | x                   |
|                    | <i>Oryza sativa</i>               | <i>Poaceae</i>              | Herbacée annuelle cultivée  | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Sorghum bicolor</i>            | <i>Poaceae</i>              | Herbacée annuelle cultivée  | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Pennisetum typhoides</i>       | <i>Poaceae</i>              | Herbacée annuelle cultivée  | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Vigna unguiculata</i>          | <i>Fabaceae</i>             | Herbacée annuelle cultivée  | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Zea mays</i>                   | <i>Poaceae</i>              | Herbacée annuelle cultivée  | x                                     | x                 | x                   |
| Fourrages naturels | <i>Monechma ciliatum</i>          | <i>Acanthaceae</i>          | Herbacée annuelle spontanée |                                       | x                 | x                   |
|                    | <i>Alysicarpus ovalifolius</i>    | <i>Fabaceae</i>             | Herbacée annuelle spontanée | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Andropogon gayanus</i>         | <i>Poaceae</i>              | Herbacée vivace             | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Brachiaria spp</i>             | <i>Poaceae</i>              | Herbacée annuelle spontanée |                                       | x                 | x                   |
|                    | <i>Cenchrus biflorus</i>          | <i>Poaceae</i>              | Herbacée annuelle spontanée | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Commelina forskalaei</i>       | <i>Commelinaceae</i>        | Herbacée annuelle spontanée |                                       | x                 | x                   |
|                    | <i>Cynodon dactylon</i>           | <i>Poaceae</i>              | Herbacée annuelle spontanée | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Dactyloctenium aegyptium</i>   | <i>Poaceae</i>              | Herbacée annuelle spontanée |                                       | x                 | x                   |
|                    | <i>Eragrostis tremula</i>         | <i>Poaceae</i>              | Herbacée annuelle spontanée | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Schizachyrium exile</i>        | <i>Poaceae</i>              | Herbacée annuelle spontanée | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Schoenefeldia gracilis</i>     | <i>Poaceae</i>              | Herbacée annuelle spontanée | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Striga hermonthica</i>         | <i>Scrophulariaceae</i>     | Herbacée annuelle spontanée |                                       | x                 | x                   |
|                    | <i>Pennisetum pedicellatum</i>    | <i>Poaceae</i>              | Herbacée annuelle spontanée | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Pupalia lappacea</i>           | <i>Amaranthaceae</i>        | Herbacée annuelle spontanée |                                       | x                 | x                   |
|                    | <i>Tribulus terrestris</i>        | <i>Zygophyllaceae</i>       | Herbacée annuelle spontanée |                                       | x                 | x                   |
|                    | <i>Zornia glochidiata</i>         | <i>Fabaceae</i>             | Herbacée annuelle spontanée | x                                     | x                 | x                   |
| Fourrages cultivés | <i>Dolichos lablab</i>            | <i>Fabaceae</i>             | Herbacée annuelle cultivée  | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Echinochloa stagnina</i>       | <i>Poaceae</i>              | Herbacée annuelle cultivée  | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Macroptilium atropurpureum</i> | <i>Fabaceae</i>             | Herbacée annuelle cultivée  |                                       | x                 | x                   |
| Ligneux fourragers | <i>Acacia raddiana</i>            | <i>Mimosaceae</i>           | Ligneux                     | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Annona senegalensis</i>        | <i>Annonaceae</i>           | Ligneux                     | x                                     | x                 |                     |
|                    | <i>Faidherbia albida</i>          | <i>Mimosaceae</i>           | Ligneux                     | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Guiera senegalensis</i>        | <i>Combretaceae</i>         | Ligneux                     | x                                     | x                 |                     |
|                    | <i>Prosopis africana</i>          | <i>Mimosaceae</i>           | Ligneux                     | x                                     | x                 |                     |
|                    | <i>Piliostigma reticulatum</i>    | <i>Caesalpiniaceae</i>      | Ligneux                     | x                                     | x                 | x                   |
|                    | <i>Sclerocarya birrea</i>         | <i>Anacardiaceae</i>        | Ligneux                     | x                                     | x                 |                     |
|                    | <i>Zizyphus mauritiana</i>        | <i>Rhamnaceae</i>           | Ligneux                     | x                                     | x                 | x                   |

### 3.6 DESTINATION DES FOURRAGES COMMERCIALISES EN MILIEU URBAIN

Les animaux bénéficiaires des fourrages achetés sont principalement les ruminants d'embouche (ovins, bovins), les vaches laitières, les chevaux de course et les animaux de trait (asins, bœufs, camelins). Les animaux des troupeaux naisseurs ne reçoivent les fourrages achetés qu'en période de soudure (mars-juin). Chaque type de fourrage est destiné à une production animale ainsi les fanes, gousses et fane de *Zornia glochidiata* sont achetées par les emboucheurs, les foin de *Echinochloa stagnina*, d'*Eragrostis tremula* et d'*Alysicarpus ovalifolius* sont destinés aux chevaux de course alors que la paille de riz et de brousse sont achetées pour les vaches laitières et aux animaux de trait.

### 3.7 CONDITIONNEMENT ET POIDS DES FOURRAGES COMMERCIALISES

Les 4 types de conditionnements ou emballages sous lesquels les fourrages sont commercialisés sont : la botte, le sac, la tasse ou tia et le tas. Certains fourrages comme les fanes de niébé et d'arachide sont conditionnés et vendus sous 2 ou plusieurs formes (sac et/ou botte) de poids variables selon la localité, l'état et la nature du fourrage (tableau 2).

Tableau 2 : Principaux fourrages vendus, les conditionnements et leur poids moyen en kg

| Fourrage                                      | Nombre d'échantillons pesés | Nom de l'unité locale | Poids moyen de l'unité locale (kg) |
|-----------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| <i>Alysicarpus ovalifolius</i> (foin)         | 77                          | Botte                 | 14,2±0,84                          |
| <i>Alysicarpus ovalifolius</i> (frais)        | 44                          | Tas                   | 3,5±2,85                           |
| <i>Echinochloa stagnina</i> (foin)            | 1034                        | Botte                 | 17,2±1,59                          |
| <i>Commelina forskalaei</i>                   | 631                         | Botte                 | 44,0±1,29                          |
|                                               | 98                          | Tas                   | 3,0±1,43                           |
| Cosse de niébé                                | 293                         | Sac                   | 45,4±0,88                          |
|                                               | 65                          | Tia                   | 1,3±1,80                           |
| Fane de <i>Zornia glochidiata</i>             | 457                         | Botte                 | 4,2±0,76                           |
| <i>Eragrostis tremula</i> (foin)              | 267                         | Botte                 | 12,1±1,26                          |
| Fane d'arachide                               | 1260                        | Sac                   | 14,0±0,90                          |
| Fane de niébé                                 | 1304                        | Botte                 | 10,3± 0,78                         |
| Feuilles sèches de <i>Ziziphus mauritiana</i> | 16                          | sac                   | 13,9±1,45                          |
| Glumes de mil                                 | 122                         | sac                   | 15,7±1,73                          |
| Glumes de sorgho                              | 55                          | sac                   | 17,7±2,55                          |
| Gousses de <i>Faidherbia albida</i>           | 1063                        | sac                   | 33,2±1,55                          |
| Herbe fraîche                                 | 234                         | Botte                 | 23,0±3,30                          |
|                                               | 365                         | Tas                   | 9,5±3,55                           |
| Herbe sèche ou paille                         | 171                         | Botte                 | 11,1±0,76                          |
| Paille d' <i>Andropogon gyanus</i>            | 114                         | Botte                 | 5,0±1,90                           |
| <i>Siratro</i> frais                          | 39                          | Botte                 | 6,2±2,45                           |
| Paille de riz                                 | 1141                        | Botte                 | 4,4±1,10                           |
| Paille de <i>Cenchrus biflorus</i>            | 148                         | Botte                 | 18±4,12                            |
| Tige de mil                                   | 585                         | Botte                 | 7,3±1,01                           |
| Tige de sorgho                                | 712                         | Botte                 | 9,0±1,23                           |

### 3.8 FACTEURS INFLUENÇANT LES PRIX DES FOURRAGES

Les résultats de l'analyse multi-variée des variables influençant les prix des fourrages commercialisés dans les 2 villes, ont montré que la saison, la nature de fourrage, le conditionnement, la localité (arrondissement communal) et leurs interactions avaient des effets hautement significatifs ( $p < 0,001$ ) sur les prix d'achat, de vente et le bénéfice tiré de la vente du kg des fourrages. Les facteurs ville et année n'ont pas d'effet significatif ( $p > 0,05$ ) sur le bénéfice par kg de fourrage commercialisé alors que la localité n'a pas d'effet significatif sur le prix d'achat des fourrages.

Tous les fourrages commercialisés en ville, ont permis d'avoir un bénéfice brut positif en toute saison variant de 8 à 51F/kg pour les légumineuses et de 7 à 48F pour les graminées fourragères. Le bénéfice brut par kg des espèces des familles de Fabaceae et de *Caesalpinaceae* est supérieur à celui des Poaceae qui sont caractérisées par leur faible teneur en matière azotée totale et une proportion importante de cellulose brute (tableau 4). Des principaux résidus de cultures commercialisés comme fourrages, les tiges de mil ont le plus faible bénéfice par kg (8 F) qui est inférieur à celui des glumes de la même culture. Le *Commelina forskalaei* frais vendu en saisons des pluies et sèche froide, a une moyenne de bénéfice brut par kg (24 F) supérieure à celle des graminées mais inférieure aux moyennes des légumineuses fourragères commercialisées. Les valeurs de bénéfice plus élevées de 51; 49 et 48 F ont été obtenues respectivement avec les gousses de *Faidherbia albida*, fane de niébé et le foin d'*Eragrostis tremula* qui sont vendus en toute saison de l'année.

Sur les 19 fourrages inventoriés sur les marchés, 13 sont vendus en toute saison et seuls 6 sont saisonniers (*Cenchrus biflorus* frais, *Commelina forskalaei*, glumes de mil, fourrage naturel, *Andropogon gyanus*, *Macroptilium atropurpureum*). Contrairement aux autres fourrages saisonniers, les glumes de mil sont un aliment de soudure (saison sèche chaude, début de saison des pluies) que les éleveurs et agro-éleveurs utilisent pour entretenir leurs animaux. La fane et cosse de niébé, feuilles de *Ziziphus mauritiana* et le *Macroptilium atropurpureum* (Siratro) ont un bénéfice brut de plus de 30 F CFA/kg en toute saison alors que pour les autres ce gain varie de 10 à 30 F/ kg de fourrage. Les valeurs de l'erreur standard variant de 3 à plus de 15, ont montré une grande variabilité du bénéfice brut tiré de la vente du kg des fourrages commercialisés en milieu urbain (tableau 4). Le maximum de bénéfice par kg de fourrage a été réalisé en saisons des pluies et sèche chaude où la demande est forte.

Tableau 4 : Bénéfice brut moyen par kilogramme, par type de fourrages commercialisés et par saison

| FOURRAGE                                            | SAISONS DE L'ANNEE |                     |                     | Erreur standard |
|-----------------------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
|                                                     | Saison des pluies  | Saison sèche froide | Saison sèche chaude |                 |
| Foin d' <i>Alysicarpus ovalifolius</i>              | 29                 | 25                  | 37                  | 7,06            |
| Foin d' <i>Echinochloa stagnina</i>                 | 27                 | 28                  | 17                  | 9,79            |
| <i>Cenchrus biflorus</i> (frais)                    | 28                 | 16                  | -                   | 10,65           |
| <i>Commelina forskalaei</i> (frais)                 | 27                 | 24                  | -                   | 5,81            |
| Cosse de niébé ( <i>Vigna unguiculata</i> )         | 33                 | 28                  | 33                  | 7,90            |
| Fane de niébé ( <i>Vigna unguiculata</i> )          | 49                 | 34                  | 45                  | 3,18            |
| Foin d' <i>Eragrostis tremula</i>                   | 27                 | 22                  | 48                  | 6,24            |
| Fane d'arachide ( <i>Arachis hypogea</i> )          | 35                 | 22                  | 30                  | 3,68            |
| Feuilles de <i>Ziziphus mauritiana</i>              | 33                 | 33                  | 37                  | 15,79           |
| Glume de mil ( <i>Pennisetum typhoides</i> )        | 17                 | -                   | 12                  | 9,19            |
| Gousse de <i>Faidherbia alibida</i>                 | 51                 | 14                  | 21                  | 7,53            |
| Foin d'herbe naturelle                              | 17                 | 26                  | -                   | 7,09            |
| Paille d'herbe naturelle                            | 21                 | 23                  | 25                  | 5,73            |
| Paille de riz ( <i>Oryza sativa</i> )               | 22                 | 38                  | 18                  | 8,57            |
| Feuilles <i>Andropogon gayanus</i>                  | -                  | 7                   | 37                  | 3,27            |
| Foin de <i>Macroptilium atropurpureum</i> (Siratro) | -                  | 47                  | 41                  | 15,79           |
| Tiges de mil ( <i>Pennisetum typhoides</i> )        | 16                 | 8                   | 13                  | 6,80            |
| Tiges de sorgho ( <i>Sorghum bicolor</i> )          | 21                 | 12                  | 19                  | 5,32            |
| Paille de <i>Zornia glochidiata</i>                 | 19                 | 9                   | 21                  | 7,39            |

### 3.9 QUALITE NUTRITIVE DES PRINCIPAUX FOURRAGES COMMERCIALISES

Les caractéristiques chimiques des 16 principaux fourrages commercialisés sont consignées dans le tableau 4. Les résultats de l'analyse chimique des échantillons des fourrages commercialisés ont montré que 13 fourrages sur les 16 analysés, ont une teneur en matière azotée totale supérieure ou égale à 8% et 7 fourrages sont riches en cellulose brute ( $\geq 35\%$ ).

Tableau 4: caractéristiques chimiques des principaux fourrages commercialisés dans les villes de Maradi et de Niamey

| Espèce de fourrage                        | Matière sèche (%) | En % de matière sèche |                 |                       |                |
|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|----------------|
|                                           |                   | Matière minérale      | Cellulose brute | Matière azotée totale | Extrait éthéré |
| Paille d' <i>Oryza sativa</i> (riz)       | 94±0,03           | 15±0,12               | 32±0,06         | 8±0,05                | 2±0,01         |
| Paille de brousse                         | 95±0,06           | 4±0,07                | 42±0,16         | 4±0,03                | 1±0,00         |
| Tige de <i>Pennisetum typhoides</i> (mil) | 95±0,12           | 6±0,03                | 36±0,19         | 5±0,05                | 2±0,00         |
| Fane de <i>Zornia glochidiata</i>         | 94±0,06           | 6±0,33                | 37±0,04         | 10±0,15               | 1±0,03         |
| Fane d' <i>Arachis hypogea</i> (arachide) | 94±0,04           | 9±0,03                | 35±0,05         | 12±0,22               | 2±0,00         |
| Fane de <i>Vigna unguiculata</i> (niébé)  | 93±0,07           | 7±0,00                | 32±0,02         | 14±0,10               | 3±0,04         |
| Fane de <i>Dolichos lablab</i> (dolique)  | 92±0,12           | 6±0,04                | 33±0,13         | 12±0,21               | 2±0,01         |
| Cosse de <i>Vigna unguiculata</i>         | 90±0,02           | 6±0,05                | 35±0,16         | 10±0,16               | 2±0,03         |
| <i>Echinochloa stagnina</i> (Bourgou) sec | 94±0,16           | 6±0,05                | 37±0,06         | 8±0,32                | 3±0,00         |
| Gousses de <i>Faidherbia albida</i> (sec) | 96±0,30           | 4±0,05                | 20±0,13         | 13±0,03               | 3±0,00         |
| Gousses d' <i>Acacia raddiana</i> (sec)   | 93±0,23           | 5±0,04                | 22±0,05         | 15±0,03               | 2±0,11         |
| <i>Guiera senegalensis</i> (frais)        | 88±0,03           | 5±0,23                | 28±0,22         | 8±0,06                | 2±0,14         |
| <i>Commelina forskalaei</i> (frais)       | 54±0,03           | 4±0,02                | 17±0,15         | 11±0,12               | 2±0,01         |
| <i>Alysicarpus ovalifolius</i> (sec)      | 92±0,14           | 5±0,05                | 21±0,17         | 14±0,03               | 2±0,00         |
| <i>Eragrostis tremula</i> (foin)          | 92±0,12           | 6±0,02                | 27±0,07         | 7±0,31                | 2±0,04         |
| Paille de <i>Cenchrus biflorus</i>        | 93±0,02           | 7±0,04                | 34±0,03         | 8±0,04                | 1±0,04         |

### 3.10 RELATIONS PRIX – VALEUR NUTRITIVE DES FOURRAGES

Les sous-produits du niébé sont les plus chers suivis de fane d'arachide et les gousses de *Faidherbia albida*. Les fourrages des légumineuses fourragères ont un prix d'achat du kg supérieur à celui des graminées. La teneur en matière azotée digestible des fourrages est très variable de 1 à 10% de MS avec les moyennes les plus élevées pour les gousses *Faidherbia albida* et le foin d'*Alysicarpus ovalifolius* (10%) et les *Fabaceae* (7 à 10%). Les fourrages grossiers (paille de brousse, tige de mil, foin d'*Eragrostis tremula*, paille de riz) ont une teneur en matière azotée totale inférieure ou égale à 8%. La figure 9 a montré que le prix de vente du kg de fourrages et leurs valeurs nutritives évoluent dans le même sens en dents de scie. Le prix du kg varie de 24 à 155 F tandis que la valeur nutritive (MAD) fluctue de 1 à 10% de MS. Tous les fourrages coûtant 100 F/kg ont une teneur en MAD inférieure ou égale à 6% de MS par contre ceux dont le prix de kg est supérieur à cette moyenne, sont plus riches en MAD (>7%) (Figure 9). Les fourrages des légumineuses sont chers avec une teneur en M.A.D. supérieure à 7% MS alors que le foin d'*Alysicarpus ovalifolius* a présenté la meilleure teneur en M.A.D. (10%) et un faible prix du kg (39 F).

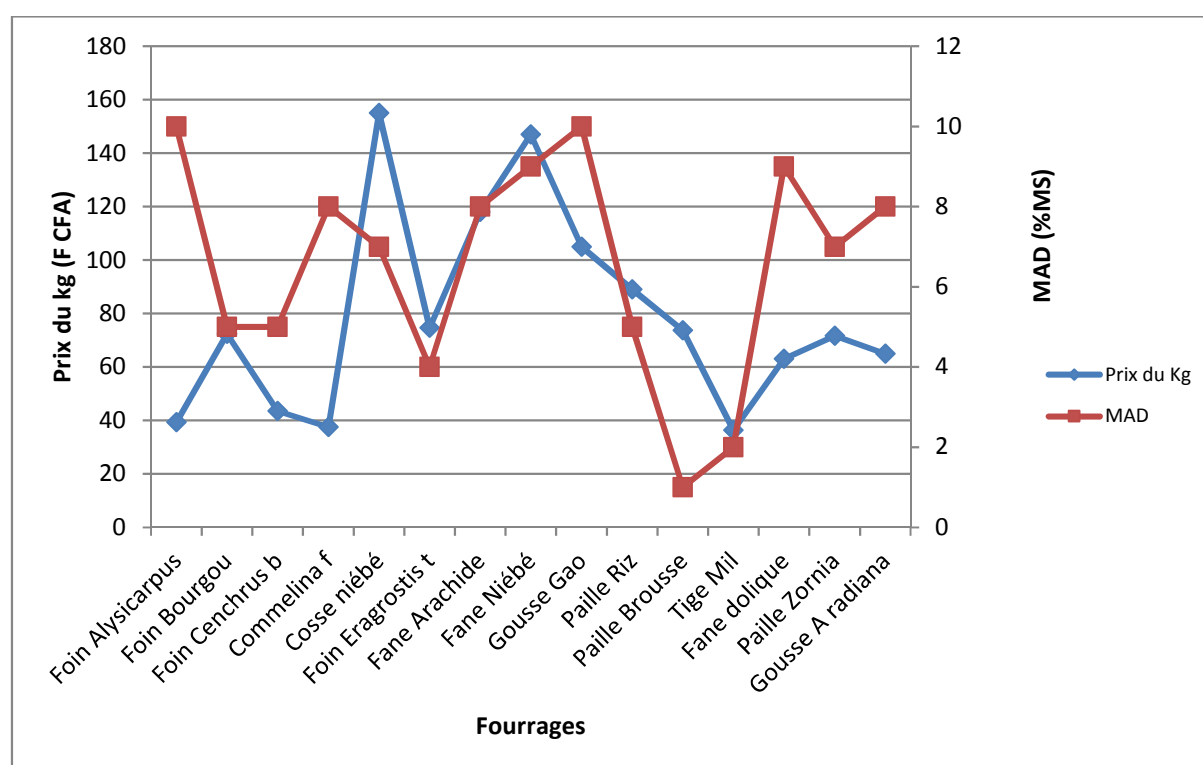


Figure 9 : Evolution du prix moyen du kg des fourrages et leur teneur en matière azotée digestible

## 4 DISCUSSION

Les zones de provenance des fourrages vendus en ville au Niger sont très variables d'une région à une autre. L'essentiel de l'approvisionnement en fourrages de Maradi est assuré par la production locale des champs de cultures et des jachères d'où sont prélevés à l'état frais les herbacées naturelles en saison des pluies et les résidus de cultures après la récolte en saison sèche froide. La prédominance de provenance des fourrages commercialisés de terres de cultures peut s'expliquer par la disparition progressive des espaces pastoraux liée à la forte pression foncière découlant de la démographie galopante en zone agricole, de l'extension des terrains bâtis pour les habitations et autres infrastructures urbaines ainsi que la récolte systématique des résidus des cultures en zone agricoles [2].

La variabilité de contribution des différents axes d'approvisionnement en fourrages de Niamey montre l'importance des axes de Simiri, Hamdalaye et Kollo qui participent à 58% au ravitaillement en fourrages des élevages. Cela met en évidence la forte dépendance des élevages de Niamey des fourrages en provenance de Zarmaganda (fane de niébé, *Zornia glochidiata*, paille de brousse), du Fakara (*Zornia glochidiata*, paille de brousse) et des aménagements hydro-agricoles du département de Kollo (paille de riz).

A Maradi, la contribution des 6 axes de ravitaillement en fourrages présente une faible variabilité (15 à 19%). Cela montre que tous les axes concourent à la satisfaction de besoins en fourrages des élevages urbains et périurbains. La prédominance de l'axe de Djirataoua (19%) s'explique par l'apport important de biomasse produite en irrigué (fane d'arachide, de niébé, de patate douce) sur l'Aménagement Agricole et en pluvial, qui est vendue à Maradi comme fourrage.

Le prélèvement précoce (avant maturité) par arrachage et par coupe des espèces fourragères naturelles, provoque la perte de la biodiversité végétale des sites de prélèvement en zone agricole de Maradi et de Niamey. La grande dépendance des élevages urbains et périurbains des résidus de cultures justifie en partie la faible productivité des animaux, constatée dans les alentours des grandes agglomérations. La faible productivité des élevages est aussi due à la forte charge animale sur les ressources pastorales périurbaines et à la compétition spatiale avec les autres activités anthropiques. D'autre part, la faible productivité des élevages urbains et périurbains est due à la sous-alimentation des animaux d'élevage à cause de la grande utilisation des fourrages grossiers dans les rations des herbivores dans ces milieux pendant toute l'année.

Dans les centres urbains, la commercialisation des fourrages est une activité génératrice de revenu et créatrice d'emploi aussi bien pour les résidents que pour les saisonniers. Cette activité commerciale est surtout exercée par les hommes adultes avec 83 à 85% des vendeurs dans les 2 villes contre 13 à 14% des adolescents et 3 à 4% femmes. Ces résultats sont inférieurs aux 97% pour les hommes et 7% pour les femmes trouvés à Niamey [8] et sont supérieurs aux 93% pour les hommes et inférieurs aux 7% pour les femmes obtenus [9]. L'approvisionnement en fourrages des élevages urbains et périurbains est assuré pour l'essentiel par les localités environnantes ou lointaines. La ville de Maradi est ravitaillée en fourrages par la production locale des résidus de cultures, de fourrages cultivés, naturels et des ligneux fourragers. Par contre, l'approvisionnement en ressources fourragères des élevages de Niamey provient en grande partie de Zarmaganda, Fakara, la zone du fleuve Niger (Aménagements Hydro-Agricoles) et les importations des régions lointaines (Maradi, Tahoua). Ces ressources proviennent principalement des champs de cultures, des jachères, des périmètres irrigués et des formations naturelles classées.

La grande contribution des résidus de cultures à l'affouragement des élevages urbains et périurbain s'explique par l'accaparement des toutes les terres périurbaines par l'agriculture vivrière et par l'extension des habitations. Cet important usage des résidus de cultures de faibles valeurs nutritives (faible teneur en MAT, taux élevé de cellulose brute) en alimentation animale, induit la faible productivité des élevages urbains et périurbains qui ne répondent pas à la forte demande en produits animaux des consommateurs urbains.

Les résultats de l'analyse chimique de fourrages commercialisés, ont montré que tous les fourrages des graminées cultivées et naturelles ont une teneur faible en matière azotée totale de 7 à 8% qui est un seuil minimal pour assurer les activités de la microflore du rumen [10] d'où découlent les nutriments utilisés par l'animal hôte pour son entretien et sa production. Ces fourrages ont aussi une teneur élevée en cellulose brute qui est négativement corrélée avec la digestibilité de la matière organique des fourrages [7]. Cette forte teneur en cellulose brute de certains fourrages commercialisés est liée au stade végétatif de leur récolte qui est généralement après la maturité des grains où migre le maximum des éléments nutritifs des végétaux. Les résidus de cultures (tiges, paille de riz, fane) constituant l'essentiel de ressources fourragères utilisées en ville, ont des caractéristiques chimiques dont les moyennes sont inférieures à celles trouvées en milieu tropical [7]. Les légumineuses herbacées et ligneuses ont une matière azotée totale supérieure ou égale à 10% qui est inférieure aux valeurs obtenues pour ces mêmes espèces par [11].

La paille de riz, *Echinochloa stagnina*, *Siratro* et le *Zornia glochidiata* rencontrés uniquement à Niamey, constituent la différence de fourrages commercialisés entre les 2 villes ayant les mêmes caractéristiques agro-climatiques. La fane de dolique produite en décrue le long de Goulbi Maradi est rencontrée seulement sur les marchés de cette localité.

*Echinochloa stagnina*, le niébé et la dolique sont les seules cultures fourragères rencontrées dans la zone d'étude. Le nombre restreint des espèces fourragères cultivées s'explique par l'absence de cette pratique dans les systèmes de production des nigériens bien que la demande en fourrages soit croissante d'année en année surtout en milieu urbain. Ces résultats sont conformes à ceux rapportés [12].

La place de la paille de riz dans le commerce de fourrages à Niamey se justifie par sa disponibilité avec les 2 campagnes de production par an le long du fleuve Niger, sa grande production moyenne de 6 à 8 t/ha [13] et de la facilité de son transport car elle est moins encombrante que les tiges de mil.

L'importance de la place qu'occupe la fane de niébé dans le commerce de fourrages à Niamey s'explique par le fait que le niébé est produit à une fin fourragère contrairement à Maradi où il est cultivé pour la production en grains. L'importance de la fane d'arachide dans le commerce des fourrages à Maradi réside dans son rang de deuxième culture pluviale après le mil dont les tiges sont le plus souvent vendues sur le lieu de leur production (champ, villages). Ces résultats sont semblables à ceux obtenus [12] et [8]. La cherté des fourrages des Fabaceae par rapport à ceux des Poaceae, peut être due à leur forte demande du fait qu'ils constituent les principaux fourrages utilisés en système intensif (embouche, lait, animaux de bât) en zones urbaine

et périurbaine. Le bas prix du kg des fourrages naturels par rapport aux autres fourrages (résidus de cultures, fourrages cultivés) peut s'expliquer par leur mode d'acquisition qui est la cueillette contrairement à l'achat ou production de ceux cultivés.

La teneur en MAT de fane d'arachide est inférieure à celle obtenue [14], par contre celle de la fane de niébé est supérieure trouvées par ces mêmes auteurs pour ces mêmes fourrages.

La teneur élevée de MAD de l'herbe naturelle fraîche est liée à son stade de récolte qui est généralement avant la fructification. Ce résultat est conforme à celui rapporté [7] selon lequel la valeur nutritive d'un fourrage est dépendante du taux de cellulose qui croît avec l'âge de la plante. La supériorité de la teneur en MAD des espèces de Fabaceae et de Ceasalpiniaceae s'explique par leur capacité de fixation de l'azote atmosphérique contrairement aux Poaceae dont le développement végétatif est très dépendant de l'apport d'azote [15].

La cosse de niébé est le fourrage le plus cher a coûté 147F CFA/kg, ce résultat est conforme à celui obtenu [9] sur les marchés des fourrages à Bobo-Dioulasso (Burkina Faso).

Les valeurs élevées du bénéfice brut par kg de fourrage, qui ont été enregistrées en saisons des pluies et sèche chaude s'expliquent par la loi de l'offre et de la demande liée à la période de soudure qui s'étalent entre les 2 saisons.

## **5 CONCLUSION**

Ce travail a permis de connaître la filière fourrages, ses acteurs, les valeurs nutritives des fourrages commercialisés et le revenu tiré de la filière.

Les résidus de cultures constituent la principale source d'affouragement des élevages urbains et périurbains en zone agricole au Niger.

Les fourrages vendus en villes appartiennent principalement aux familles des Poaceae (41,1%), des Fabaceae (14,7%), des Mimonaceae (9%), Ceasalpiniaceae (6%) et les autres familles ne représentent que 29,4% des espèces inventoriées sur les marchés des fourrages.

L'approvisionnement en fourrages des villes est basé sur la production locale des résidus de cultures et de leur importation en provenance d'autres régions ainsi que ceux issus de cueillette.

Les fourrages commercialisés en ville sont chers et de qualité moyenne avec une teneur en matière azotée digestible variant de 1 à 11% et celle de cellulose brute de 17 à 37%.

Les fourrages des légumineuses sont les plus vendus, les plus chers et les plus riches en valeurs nutritives.

La vente des fourrages en ville est une activité économique qui génère un bénéfice brut par kilogramme de fourrage vendu variant de 10 à 45 F CFA en toute saison.

La forte demande fourragère des élevages urbains et périurbains en pleine expansion est une menace pour l'environnement, qui conduit à sa dégradation continue.

## **6 RECOMMANDATIONS**

Caractériser toutes les ressources fourragères en périurbaines et urbaines pour faciliter l'établissement des tables de valeurs nutritives des fourrages locaux.

Promouvoir les cultures fourragères et vulgariser les variétés à double fin à haut rendement en grains et en résidus de qualité afin de réduire la dégradation de l'environnement liée à sa surexploitation par l'élevage.

La filière fourrages nécessite d'être organisée pour faciliter l'accès aux éleveurs à des fourrages de qualité, sécuriser les vendeurs et faciliter le recouvrement des taxes aux communes.

## **REMERCIEMENTS**

Les auteurs remercient l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN) et le Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO) pour les appuis techniques et financiers pour la réalisation de ce travail.

## REFERENCES

- [1] André Fleury et Pierre Donadieu. *De l'agriculture péri-urbaine à l'agriculture urbaine*. Le Courrier de l'environnement n°31, août 1997, École nationale supérieure du paysage/INRA France, 4, rue Hardy, RP 819, 78009 Versailles cedex.
- [2] Smith, O. B., Moustier, P., Luc J.A Mougeot, & Fall A. *Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique de l'ouest francophone : Enjeux, concepts et méthodes* (CIRAD, CRDI.). Dakar, Ottawa.145 pages. 2004.
- [3] Ali Lawali, P. Van den Bossche et E. Thys. *Enjeux et contraintes de l'élevage urbain et périurbain des petits ruminants à Maradi au Niger : quel avenir*. Revue Élev. Méd. vét. Pays trop., 2003, 56 (1-2): 73-82. 2003.
- [4] Ministère de l'Élevage du Niger. *Stratégie de Développement Durable de l'Élevage (2012-2035)*. 70 pages. Version 6. 5 avril 2012.
- [5] Institut National des Statistiques (INS)-Niger, 2014 : *Le Niger en chiffres*. 84 pages. 2014.
- [6] Recensement Général de l'Agriculture et du Cheptel (RGAC). *Rapport définitif-Niger- FAO*. 2007.
- [7] R. Rivière. *Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. Manuel et précis de l'élevage*. I.E.M.V. 529 pages. 1991.
- [8] Soulé Maman. *Analyse du système de commercialisation du fourrage dans la ville de Niamey (Niger)*. Mémoire de Master à l'Ecole Inter-Etats de Sciences et Médecine Vétérinaire (EISMV)- Dakar-Sénégal. 28 pages. 2014.
- [9] Kiémizanga KF, Nacro S, Ouédraogo S, Kaboré-Zoungourana C. *Commercialisation des fourrages en zone urbaine de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso): Pratiques marchandes et rentabilité économiques*. Cah.Agric.20(6). 487-493.doi :10.1684/agr. 2011.0530.vol. 20, n8 6, novembre-décembre 2011.
- [10] Van Soest P.I. *Nutritional ecology of the ruminant*. Ithaca. New York, USA. Cornell University Press. 1982.
- [11] S. Issa, M. Abdoulaye, G. Ibro, A.Soumaila, S. Seyni, A, Dangomma. *Amélioration des techniques de valorisation des ressources alimentaires locales pour l'engraissement des ovins dans le Sud-Ouest nigérien*. Science et techniques. Science naturelle et agronomie.. 9-16p. Mai 2015.
- [12] Dicko Maimouna. *Stratégie d'alimentation des ruminants domestiques au Niger*. INRAN, Rapport d'atelier. 48 pages. 1997.
- [13] Office des Aménagements Hydro-Agricoles (ONAHA)-Niger. *Rapport annuel d'activités*. 2015.
- [14] Kiémizanga Frédéric Sanou, Souleymane Nacro, Mathieu Ouédraogo, Souleymane Ouédraogo et Cantal Kaboré-Zoungourana. *Durabilité de l'offre et nutritive des fourrages commercialisés en zone urbaine de Bobo-Dioulasso*. Cah. Agric. 2016, 25, 15002. Doi : 1061051/cagri/2016.007. 2016.
- [15] R. Jarrige. *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. INRA, Paris, 476p. 1988.
- [16] *bétail dans la ville de Niamey*, Mémoire de Master 2 Agroforesterie, Faculté d'Agronomie/UAM/Niamey, 60 p. 2012.

## **Analyse spatiale des anomalies gravimétriques du bassin sédimentaire de la cuvette centrale congolaise et contribution à la modélisation de son système pétrolier**

### **[ Spatial analysis of gravity anomalies in the Congolese sedimentary central basin and contribution to the modeling of his petroleum system ]**

**Franck Tondozi Keto<sup>1</sup>, Joseph Ntibahanana Munezero<sup>1</sup>, Muyer Muyam<sup>2</sup>, Bakamubia Kanyinda<sup>3</sup>, Manzuma Mpukuta<sup>3</sup>, Dieudonné Wafula Mifundu<sup>1</sup>, and Mukandila Ngulula<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Département des sciences / Département d'exploration et production, Université de Kinshasa, RD Congo

<sup>2</sup>Institut de bâtiment et de travaux publics, Kinshasa, RD Congo

<sup>3</sup>Centre de Recherche en Géophysique, Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The exploration of the Central sedimentary basin in Democratic Republic of Congo, focused on geological, geochemical and geophysical studies, as well as well drilling, started early in nineteen fifty with several foreign organizations including the Belgian firm REMINA. Coupled with field work carried out by the Congolese national oil company, this work resulted in the confirmation of the surface index at several sites, as well as the recognition of the potential mother rocks, reservoir rocks and cover rocks. In this work we contribute to the development of a geological model of the petroleum system of this sedimentary basin based on the interpretation of Bouguer anomalies. After analysis the results are represented in the form of maps. Apart from the surface index, mother rocks, reservoir rocks and cover rocks already confirmed in this area, these results have enabled the identification of places with large sediment thicknesses or central deposits and areas likely to trap hydrocarbons in this basin. Our model of this sedimentary basin allows to locate the maturation zones of the mother rocks, gives an idea of the direction of hydrocarbon migration, help identification and the location of the probable geological structures favourable to the accumulation of oil in this area.

**KEYWORDS:** deposit-centers, bed rocks, index of surface, traps with oil, model.

**RÉSUMÉ:** L'exploration du bassin sédimentaire de la cuvette centrale (en RD Congo) axée sur les études géologiques, géophysiques, géochimiques ainsi que les forages des puits a commencé vers les années cinquante avec plusieurs organismes étrangers dont la firme Belge REMINA. Couplées aux travaux de terrain réalisés par le secrétariat général aux hydrocarbures et la compagnie nationale congolaise des hydrocarbures, ces études ont amené à la confirmation des indices de surface sur plusieurs sites et à la reconnaissance des roches mères, réservoirs et couvertures potentielles. Dans ce travail, nous apportons notre contribution à l'élaboration d'un modèle du système pétrolier de ce bassin sédimentaire à partir de l'interprétation des anomalies de Bouguer. Les résultats ainsi trouvés sont représentés sous forme cartographique et, à côté des indices de surface, roches mères, réservoirs et roches couvertures déjà confirmées dans ce secteur, ces études ont permis d'identifier les endroits ayant des larges épaisseurs de sédiments ou les dépôts-centres, et les aires potentielles susceptibles de piéger des hydrocarbures dans ce bassin. Notre modèle permet par conséquent de localiser les zones de maturation des roches mères, donne une idée du sens de migration des hydrocarbures qui y seront générés, identifie et situe les probables structures géologiques susceptibles d'être les potentiels pièges à pétrole.

**MOTS-CLEFS:** dépôts-centres, roches mères, indice de surface, pièges à pétrole, modèle.

## **1 INTRODUCTION**

Lors de la prospection pétrolière, les géologues et les géophysiciens travaillent d'habitude à l'échelle d'un bassin sédimentaire. Ils cherchent à mettre en évidence un système pétrolier afin de maximiser les chances de rencontrer une accumulation d'hydrocarbures dans un endroit précis du sous-sol (Total, 2007 [1]). On connaît aujourd'hui que la cuvette centrale a subi une extension au protérozoïque supérieur et elle a été réactivée au mésozoïque (Karroo), par la dynamique d'étirement. Pendant cette période, il s'est développé au niveau du craton du Congo des accidents tectoniques qui ont conduit aux failles avec des blocs basculés aboutissant à la présence de plusieurs horsts et grabens. Un nouveau rejet s'est produit au jurassique supérieur. C'est au cours de ce mouvement qu'est située la période de dépôt des schistes bitumineux de l'étage de Kisangani. On signale un autre rejet qui s'est effectué au crétacé en relation avec le système des fossés entraînant la rupture du craton du Congo et l'ouverture de l'atlantique Sud. C'est durant cette période que se sont déposées les couches bitumineuses de Kipala (Kadima et al., 2011[2]).

Il en résulte que le craton du Congo a enregistré les effets d'au moins trois épisodes orogéniques centrés sur les ceintures qui l'entourent dont le Kibarien, le Panafricain et l'Hercynien. A la superposition de ces cycles, résultent deux familles d'accidents préexistants dans le substratum qui sont (Cellule Technique Pétrolière/Pétrozaïre, 1987) [3]:

- Une famille d'accidents d'orientation perpendiculaire à la direction d'étirement, disposée en failles normales et contrôlant une tectonique des blocs basculés lors de l'épisode Panafricain et entraînant la genèse des fossés d'effondrement de profils asymétriques ;
- Une famille d'accidents d'orientation parallèle à la même direction (étirement) survenue lors de l'épisode Hercynienne définissant des zones de transfert qui peuvent être soit en translation, soit en transgression.
- Dans le premier cas, le jeu de ces accidents décrochant contrôle la genèse des fossés. Dans le deuxième cas, le jeu d'accidents a entraîné la genèse d'anticlinorium de transfert. La sédimentation reflète l'évolution structurale dont le remplissage sédimentaire peut atteindre 12 km.

La stratigraphie de la cuvette centrale montre à la base des grès polymorphes et des sables ocres d'origine fluviale et éolienne d'âge cénozoïque. Le paléozoïque supérieur comprend les formations du carbonifère et du permien. Du protérozoïque supérieur au paléozoïque (dévonien), trois groupes ont été identifiés (SGH et COHYDRO, 2003) [4]:

- Le groupe d'âge protérozoïque, constitué des sédiments marins marginaux lagunaires.
- Le groupe d'âge cambrien, présentant des dépôts d'origine alluviale (arkoses de Bobwamboli) et des schistes de Mamungi et de Kolé de faciès deltaïque.
- Le groupe d'âge ordovicien, silurien et dévonien contenant les quartzites de Galamboge (dunes marines), les schistes d'Alolo (fluviales) et arkoses de Banalia (deltaïque).

L'objectif principal que poursuit le présent travail est de produire un modèle géologique du système pétrolier de la zone d'étude partant de l'interprétation des anomalies de Bouguer. En d'autres mots ; élaborer une carte sur laquelle figurent les principaux éléments géologiques cités ci-haut, en corrélation avec le système pétrolier du bassin sédimentaire de la cuvette centrale.

## **2 MATERIEL ET METHODE**

### **2.1 MATERIEL**

Pour réaliser ce travail, nous avons utilisé un ordinateur avec des logiciels permettant les opérations d'analyse, de traitement, de visualisation 2D et 3D, de tracés des profils et de modélisation des données dont : OriginPro, Golden Surfer, Geosoft Oasis\_montaj et ArcGIS.

### **2.2 METHODE**

La gravimétrie est l'une des méthodes de prospection géophysique. Elle permet d'étudier le sous-sol par l'analyse des variations du champ de pesanteur. Les variations spatiales du champ de pesanteur reflètent le contraste de densité des roches dans la croûte terrestre. Par conséquent, la gravimétrie permet de sonder à distance les corps intéressants le prospecteur (M. Cara, 1989 [5]). Comme toute campagne de prospection géophysique, une campagne gravimétrique comprend généralement

trois étapes : l'acquisition des données qui se fait par l'exécution des levés avec un gravimètre, le traitement des données et l'interprétation des données (Lavergne, 1986 [6]).

### **2.2.1 ACQUISITION DES DONNEES**

A l'aide d'un gravimètre, on exécute des levés gravimétriques à différentes échelles caractéristiques de la phase de l'exploration, soit : à grande échelle pour une reconnaissance générale ; soit à petite échelle pour une reconnaissance détaillée. C'est l'aire de couverture du levé gravimétrique et la densité des mesures enregistrées qui déterminent l'échelle du levé. Avec des levés régionaux, la gravimétrie utilise des échelles de 1/1000 000 à 1/2000 000. Pour le tracé des cartes à ces échelles, la distance entre les points d'observation doit être de 2 à 4 Km.

Les levés gravimétriques détaillés s'effectuent aux échelles de 1/100 000 à 1/25 000 avec une densité plus resserrée des points d'observation (I. Abrikossov et I. Goutman, 1982 [7]). Pour ce qui est des données recueillies lors de l'exécution d'un levé gravimétrique, il faut noter pour chaque lecture les éléments suivants:

- Le numéro de référence (levé régional) ou le numéro de la ligne et de la station (levé détaillé) ;
- La date et l'heure de la lecture ;
- L'altitude de la station ;
- La hauteur du gravimètre au-dessus du sol ;
- La topographie environnante, si elle est accidentée pour ce faire on utilise un inclinomètre ;
- Pour un levé détaillé, on mesure les pentes jusqu'à une distance d'environ 100 m ;
- La profondeur de l'eau si le levé est effectué sur un lac ou un cours d'eau ;
- Tous les renseignements pertinents (position des affleurements, coupes des terrains etc.).

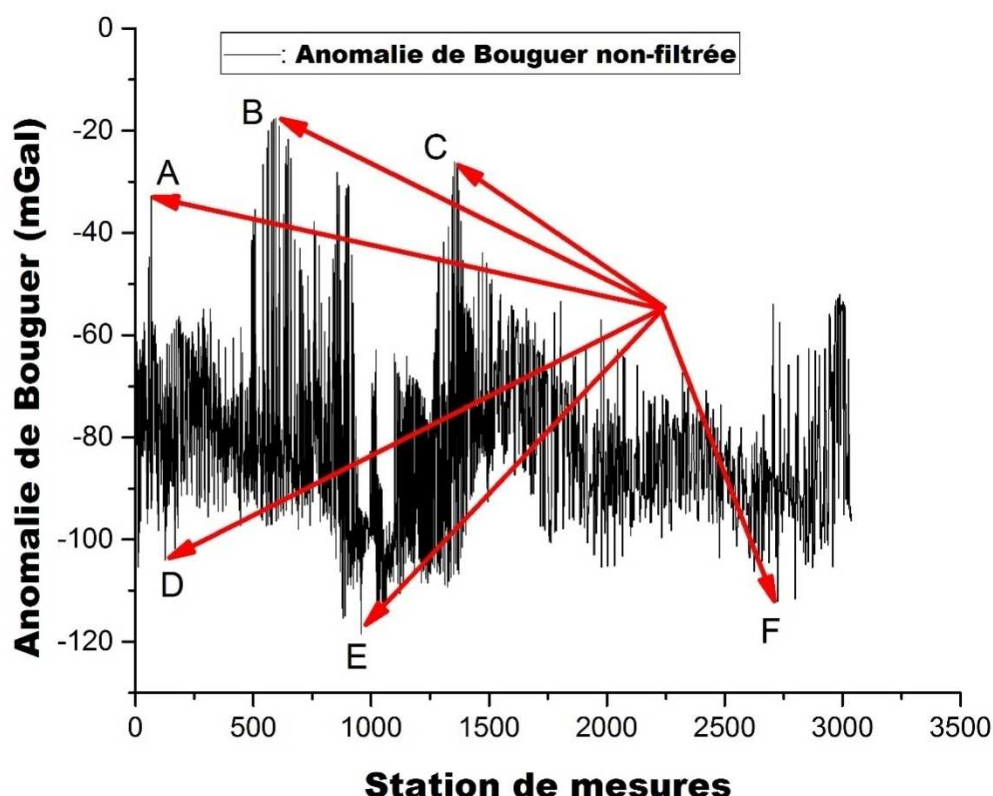
En outre, il y a lieu de noter que plusieurs facteurs dont la position de la lune et du soleil, les marées, la dérive de l'appareil, la forme de la terre (latitude et l'altitude), la topographie et le milieu environnant (les constructions, par exemple), influencent la mesure de l'accélération de pesanteur (g), c'est pourquoi ces effets doivent être retirés pour que l'anomalie mesurée corresponde à la variation de la densité des corps géologiques enfouis dans le sous-sol.

Les corrections des mesures consistent donc, à ramener les mesures en un point situé sur une surface plane d'altitude constante et débarrassée de la force centrifuge, à cause de la rotation de la terre et de l'attraction des corps célestes autres que la terre (lune-soleil) ; ce qui implique des corrections luni-solaires, de latitude, d'altitude et de topographie. Une fois que ces corrections sont appliquées, on obtient des valeurs de base appelées valeurs de Bouguer (G. Henry, 1994 [8]).

### **2.2.2 TRAITEMENT DES MESURES**

Bien sûr, quoique les valeurs de l'anomalie de Bouguer reflètent la variation des densités des corps enfouis dans le sous-sol, il y a cependant lieu de signaler qu'il existe d'autres signaux non désirés mais, qui sont mesurés et enregistrés au même moment que la densité des corps géologiques. Ces signaux sont appelés des bruits de fond. C'est le cas des vibrations du sol causées par le mouvement des arbres dans le vent, des signaux provenant des erreurs d'exécution ou de correction des mesures, etc.

Le traitement des données gravimétriques a pour but d'accroître la résolution des levés en dissociant les effets du bruit de fond des ceux qui sont uniquement dus à la variation de la densité dans le sous-sol. On reconnaît le bruit de fond sur les profils des mesures par des sauts ou des variations subites et aléatoires (Fig.1).



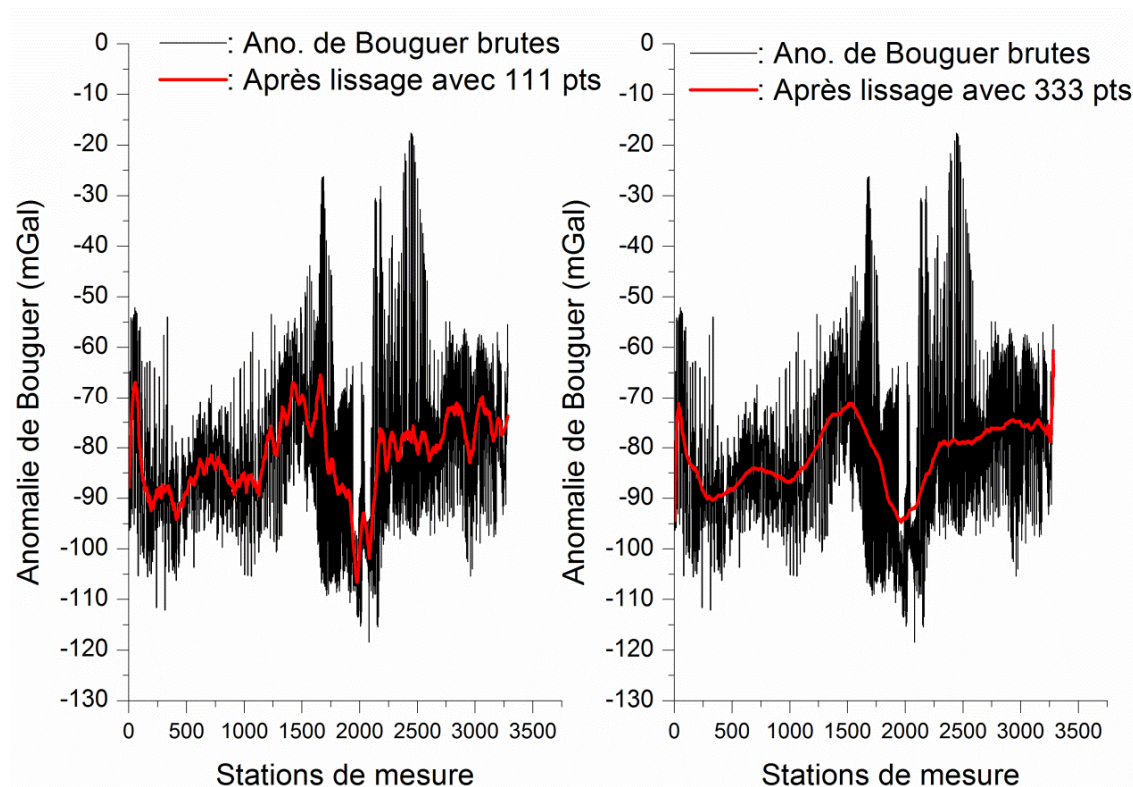
**Fig.1 : Les points (A, B, C, D, E et F) traduisant des irrégularités dans l'anomalie de Bouguer non-filtrée et indiquent la présence du bruit de fond**

Il apparaît de façon évidente que le traitement des mesures nous permet de ne retenir que le seul signal d'origine géologique dont la gravimétrie est sensible, à savoir ; la manifestation de la densité des masses rocheuses enfouies dans le sous-sol (Allard et Bois, 1999 [9]). Cependant, il y a deux grandes familles principales de traitement des données : les techniques de convolution et les techniques basées sur l'analyse de Fourier. Dans ce travail nous avons utilisé les techniques de convolution car elles permettent d'appliquer sur les données un traitement direct en utilisant une opération mathématique simple « la convolution ».

La convolution est une opération mathématique qui s'applique aussi très bien aux données couvrant une surface comme il en est le cas dans ce travail que sur une série des mesures prises uniformément le long d'un profil. Elle consiste à :

- Définir une fonction mobile que l'on appelle aussi un opérateur, selon le besoin du traitement : cette fonction mobile doit comporter, le long d'un profil en général 3, 5, ou 7 termes dont la somme doit égaler 1 pour conserver le même ordre de grandeur entre les mesures brutes et les mesures traitées ;
- Placer le centre de la fonction mobile vis-à-vis d'une première mesure, puis multiplier station par station les termes de la fonction par les mesures correspondantes et additionner le tout. Le résultat donne une valeur traitée à la station centrale qui se trouve en face du centre de la fonction mobile. Enfin ;
- Déplacer la fonction mobile à la station suivante et, on refait le calcul ainsi de suite.

Les techniques de traitement des données gravimétriques accomplissent en général l'une ou l'autre des opérations suivantes, en conformité avec le but du traitement : Le filtrage et l'atténuation du bruit de fond ; la séparation régionale-résiduelle et le rehaussement des anomalies superficielles de faible longueur d'onde et de faible amplitude [9]. Ainsi pour traiter les données gravimétriques relatives à notre zone d'étude, nous nous sommes servi des logiciels Surfer et OriginPro en vue de filtrer le bruit de fond et faire la séparation régionale-résiduelle. Après avoir enlevé le bruit de fond, le profil des mesures vont présenter une allure plus lisse résultant de l'élimination des sauts aléatoires constatés sur le profil des mesures brutes (Fig.2)



**Fig.2:** En rouge, ce sont les profils des mesures après élimination du bruit de fond avec 111 points et 333 points et en noir ce sont les profils des mesures brutes contenant un bruit de fond.

Certes le bruit de fond est éliminé, mais on sait que les corps géologiques étant très souvent de dimensions variables et rapprochés les uns des autres, les anomalies engendrées sont souvent superposées de manière que l'anomalie de Bouguer même séparée du bruit de fond représente la somme des anomalies de tous les corps sous la surface. Cette superposition complète ou partielle complique parfois l'identification des sources et leur interprétation, voilà pourquoi on procède à la séparation des anomalies. Ce qu'on veut en réalité, c'est élaborer la carte d'anomalies régionales d'une part et la carte d'anomalies résiduelles d'autre part.

Cette séparation consiste à isoler les anomalies de grande longueur d'onde et qui proviennent de grandes profondeurs (exemple : variations du socle), des anomalies de faible longueur d'onde qu'elles masquent souvent et qui sont causées en général par des corps géologiques relativement petits provenant des profondeurs moyennes (exemple : dôme de sel à l'intérieur d'une colonne sédimentaire).

Ainsi, la séparation des anomalies a consisté au lissage des contours d'isoanomalies pour enlever les signaux de surface et ne retenir que ceux de profondeur (régionale) en utilisant le filtre passe bas avec 9 passes. Cette opération se fait directement sur les valeurs interpolées et obtenues par maillage grâce au logiciel Surfer dont nous sommes servis. Les résultats obtenus après traitement ont été présentés sous forme des cartes et des profils.

La cartographie des résultats consiste donc à transcrire les données sur un plan, à l'endroit où on les a recueillies en vue de rendre discernable d'un seul coup d'œil, les subtilités de ces données. On distingue à cet effet ; les cartes des contours d'isoanomalies, les cartes en couleurs et à relief ombré ainsi que des perspectives 3D.

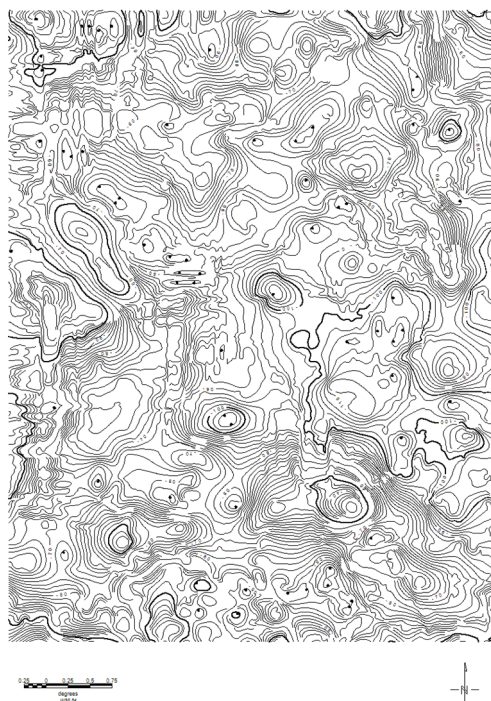
Les cartes gravimétriques issues d'un levé quelconque sont ainsi établies à des échelles et à des précisions variées. Généralement les levés sont exécutés à 0,5 mGal près avec un réseau assez resserré des points d'observation (1 - 2 km) et le tracé des cartes caractéristiques au 1/200 000 à section de 1-2 mGal. Lors de la reconnaissance des gisements de pétrole et de gaz, ces cartes comme celles établies à l'échelle plus petite (1/500 000 et 1/100 000) sont utilisées principalement pour l'étude de l'architecture régionale profonde et la distinction des régions sur terre et en mer susceptibles de cacher des pièges à hydrocarbure. Ces cartes servent aux pronostiques des structures locales raisonnablement supposées et donnent des perspectives en pétrole et gaz (Milntchouk et Arabadji, 1986 [10]).

#### ○ Carte des contours d'isoanomalies

Les contours d'isoanomalies sont les courbes de niveau de même intensité d'anomalie comme il en est le cas pour une carte topographique « qui est une carte d'anomalies d'altitude par rapport à la surface d'altitude zéro ». Les courbes de niveau de cette carte sont aussi les isoanomaes (topographiques). Elles relient les valeurs d'anomalies d'égale intensité d'une surface déterminée par maillage. A l'aide du logiciel Surfer, l'ordinateur nous a permis de dessiner ces contours avec rapidité. Surfer interpole les données graphiquement et choisit un intervalle de contour approprié.

Retenons que les niveaux des contours d'iso-anomalies sont choisis à intervalle régulier et qu'en général, on choisit l'intervalle de relief de façon à montrer de cinq à dix niveaux de contours sur toute la carte. Comme il en est le cas pour notre zone d'étude, les levés de faible relief, où la différence entre la valeur la plus haute et la plus basse n'est que de 50 à 100 unités, nécessitent un intervalle de contours de 10 ou 20 unités.

Peu importe l'intervalle choisi, on conseille qu'à toutes les 5 contours d'isoanomalie, le tracé de la courbe soit plus épais que les autres. La valeur de chaque courbe doit aussi être inscrite sur celle-ci, à intervalle raisonnable, pour permettre à l'utilisateur de visualiser la carte plus rapidement, (Fig.3).



**Fig.3 : La carte des contours d'isoanomalies**

#### ○ Carte en couleurs et à relief ombré

Les cartes en couleurs permettent de visualiser rapidement les variations dans les données. La technique consiste à assigner une couleur à chacun des pixels de l'image en fonction de son intensité, sachant que cette couleur traduit aussi l'intensité de l'anomalie. Trois facteurs doivent être pris en considération lors de cette assignation : le choix, le nombre et la répartition des couleurs. Le choix des couleurs est individuel et cependant, la carte ci-dessous (Fig.4) a été coloriée à l'aide de la palette de couleurs choisit en utilisant le logiciel Geosoft Oasis\_montaj.

Les couleurs violacées et rouges sont assignées aux endroits ayant des valeurs d'anomalies de Bouguer très élevées et la couleur bleue aux endroits de basses valeurs d'anomalies de Bouguer. Les régions des valeurs d'anomalies de Bouguer moyennes sont représentées par les couleurs jaune et verte. Pour ce qui est de la répartition de ces couleurs, nous avons choisi une répartition à aires égales ; c'est-à-dire que chacune des couleurs occupe la surface de même intensité sur l'image(Fig.4).

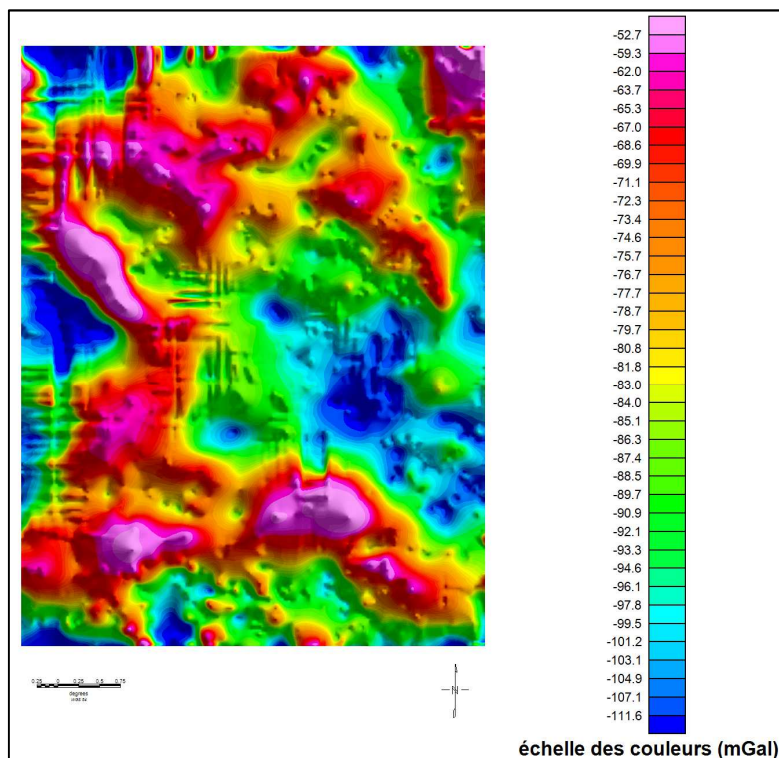


Fig.4: Carte en couleurs et à relief ombré

#### ○ Perspective tridimensionnelle

L'effet visuel de la perspective tridimensionnelle (Fig.5) ressemble à celui que créerai un filet que l'on poserait sur la surface numérique produite par maillage. En choisissant les angles de vue horizontale et verticale, on peut voir d'un seul coup d'œil les aptitudes relatives et les formes des anomalies. Ce type de présentation a cependant le désavantage de rendre difficile la localisation géographique des anomalies. On l'utilise donc comme complément des autres formes de représentation.

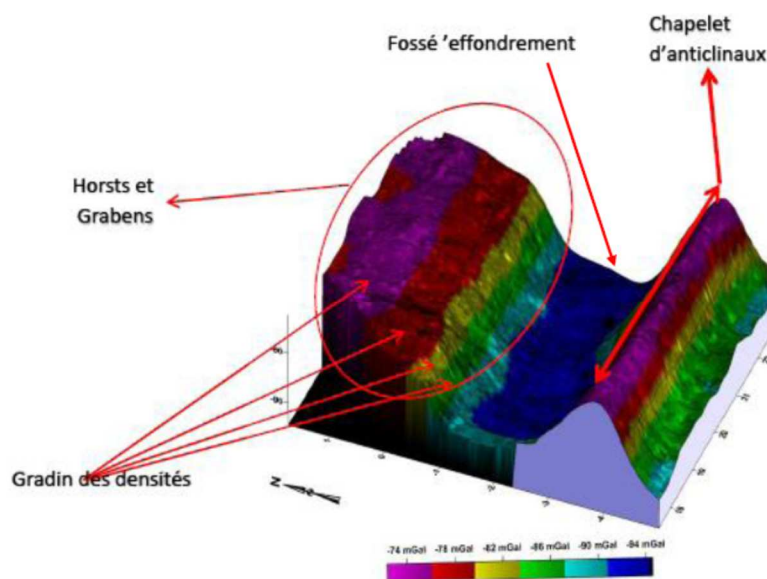
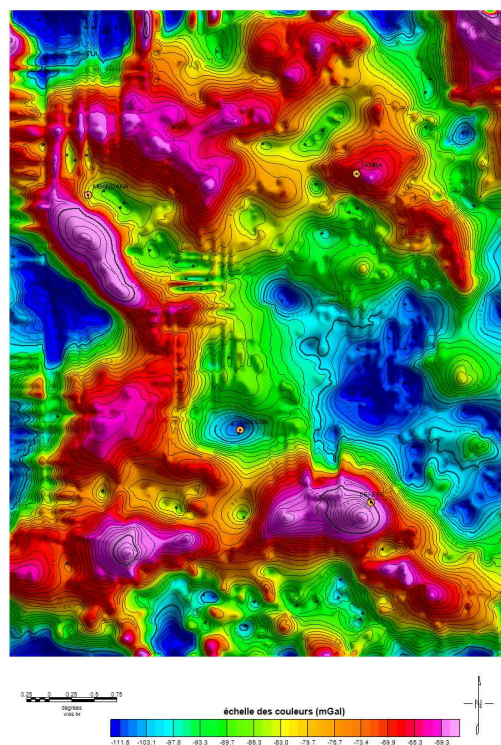


Fig.5: Perspective 3D des anomalies de Bouguer

### ○ Carte composite

Pour créer les cartes composites, on superpose en général deux formes de présentation de mêmes données sur la même carte. Par exemple ; les cartes en couleurs se superposent avantageusement avec les cartes en couleurs et à relief ombré et la carte des contours d'isoanomalies. Les qualités de ces deux présentations s'additionnent pour améliorer l'étude et l'interprétation des données. La carte ci-après (Fig.6) illustre parfaitement les avantages de cette représentation. On peut également y représenter des données de nature différente comme les indices de surface, les puits de forage etc.



**Fig.6: Carte composite des anomalies de Bouguer**

### 2.2.3 INTERPRETATION DES RESULTATS

En géophysique appliquée, les résultats de la gravimétrie permettent de tracer les contours des corps géologiques souterrains au simple trait. Souvent, des modèles géométriques simples ayant une réponse analytique connue donnent un résultat satisfaisant. Si la géométrie de ces corps est trop complexe, la modélisation numérique vient en renfort (Giroux et Chouteau, 2008 [11]).

Cependant, la solution des problèmes d'exploration de pétrole et de gaz sur base des données gravimétriques, y compris la mise en évidence des structures géologiques (tectoniques et/ou sédimentaires) susceptibles d'être des pièges se ramène à un exercice minutieux d'observation analytique des cartes gravimétriques élaborées [10]. L'identification des anomalies est la première chose qu'on fait dans l'interprétation des cartes gravimétriques. Ainsi, le but de l'interprétation des anomalies de pesanteur est de trouver la distribution des sources (contrastes de densités et géométries des sources) qui créent les anomalies observées en surface. Ainsi les anomalies gravimétriques sont classifiées:

- En fonction de leurs intensités, on distingue habituellement des anomalies maximales (lourdes) et des anomalies minimales (légères),
- En fonction de leurs formes, il est possible de déterminer deux classes d'anomalies, dont les anomalies linéaires et les anomalies circulaires.

On distingue également des zones de resserrement des contours d'isoanomalies constituant des zones de gradient de pesanteur plus élevé ou des gradins gravimétriques. On a également des anomalies de dimensions énormes, s'étendant sur des dizaines de milliers de kilomètres carrés dont l'intensité est quelque fois très importante : d'ordre allant des dizaines à des

centaines de milliGals (anomalies régionales). En interprétant les cartes gravimétriques dans le but d'exploration de pétrole et de gaz, on tient généralement compte des facteurs suivants :

- Un champ de gravitation anomal ne se forme sous l'influence d'un contour ou de surfaces de séparation de terrains de densités différentes que si ces derniers terrains sont constitués de corps ou d'assises suffisamment grandes comme une intrusion magmatique ou salifère.
- Une intrusion de la frontière des corps lourds, par exemple du granite, dans des assises sédimentaires crée un excès de masse et partant, un maximum de pesanteur. Ceci peut être aussi dû à un soulèvement du socle. De même, une intrusion de roches légères, par exemple des évaporites provoque un déficit de masses et donc, un minimum de pesanteur. Ceci peut traduire également un effondrement du socle ou un fossé.
- Les contacts des terrains tectoniques, magmatiques et sédimentaires aux densités différentes, autrement dit « gradins de densités », engendre dans le champ de gravitation des zones ou des bandes de gradients de pesanteur élevé se manifestant par un resserrement d'isoanomaes.

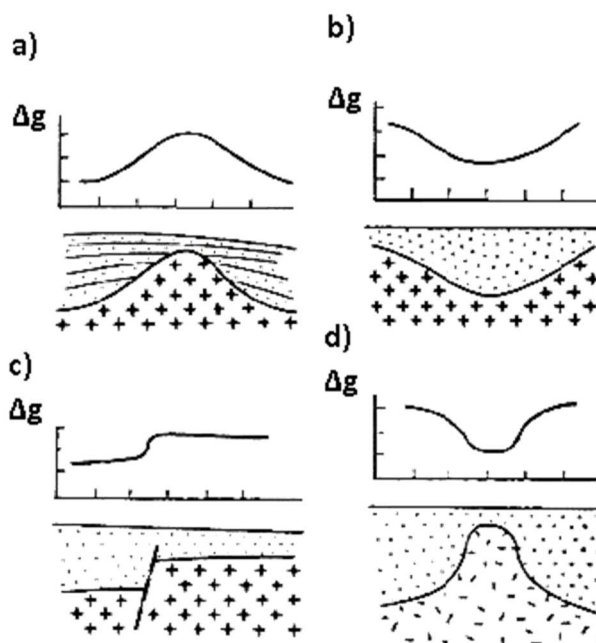
Retenons par ailleurs que si les isoanomaes sont fermées, chacune d'elles dessinant une figure proche de la circonférence ; cette situation est caractéristique des anomalies tridimensionnelles qui indiquent un modèle géologique en dômes ou en fossés. Si les isoanomaes sont grossièrement ellipsoïdales, on a des structures synformes et/ou antiformes. Les endroits où les isoanomaes sont resserrées, en d'autres mots les zones de gradient de densité très élevé caractérisent la présence des failles.

Les hypothèses géologiques ainsi que les différentes structures de la couverture sédimentaire qui expliquent les anomalies gravimétriques observées sur les cartes et dont on doit tenir compte lors de l'interprétation de ces cartes sont résumées ci-dessous (Tab.1) et (Fig.7).

**Tableau 1: Résumé de l'interprétation gravimétrique en rapport avec la géologie régionale**

| Nature d'anomalie         | Hypothèses géologiques                                                                                             |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| lourde                    | Intrusion magmatique, présence d'un corps métamorphique ou soulèvement du socle cristallin                         |
| légère                    | Intrusion salifère ou présence d'un fossé d'effondrement                                                           |
| Forme circulaire          | Dômes ou fossés                                                                                                    |
| Forme ellipsoïdale        | Structures synformes ou antiformes                                                                                 |
| Resserrement des contours | Les contacts des terrains tectoniques, magmatiques et sédimentaires aux densités différentes, présence des failles |

Voici aussi les profils des différentes structures de la couverture sédimentaire et les anomalies locales de pesanteur engendrées par ces dernières selon Militchouk et Arabadji.



**Fig.7: Anomalies de la pesanteur au-dessus des structures géologiques : a) dôme granitique ; b) dépression synclinale ; c) faille ; d) colonne de sel**

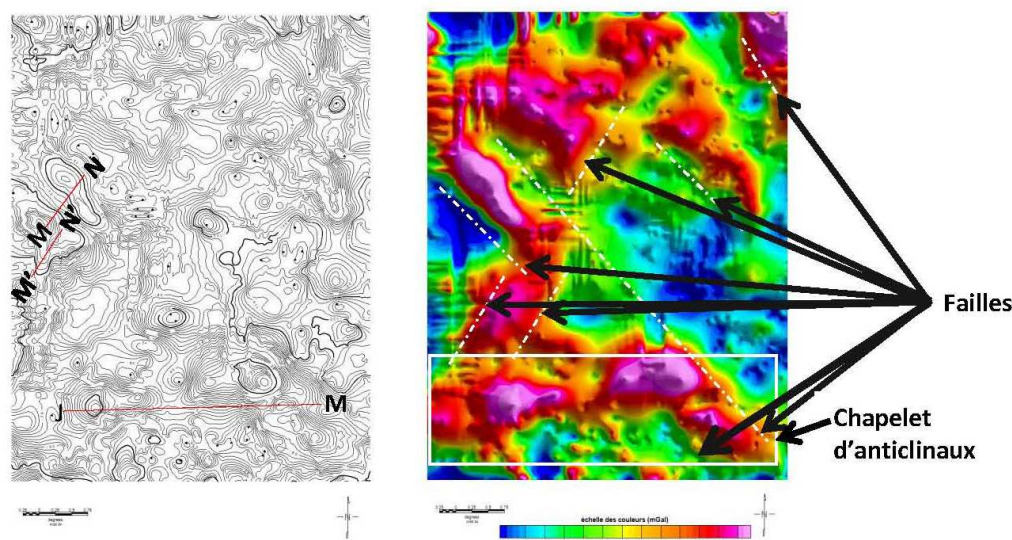
En observant les cartes gravimétriques de notre secteur d'étude (Fig.8) en rapport avec ce qui précède, il y a lieu de noter :

- **En fonction de l'intensité du champ de gravité**

Le Sud est dominé par la présence d'un chapelet d'anomalies lourdes (en couleur variant du rosâtre au rouge), le centre quant à lui ; il montre une allure moyenne avec des zones d'anomalies légères (en couleur bleu). Un dipôle gravimétrique est observé vers l'Ouest et, le Nord est dominé par des valeurs élevées de gravité.

- **En fonction de la forme des contours d'isoanomalies**

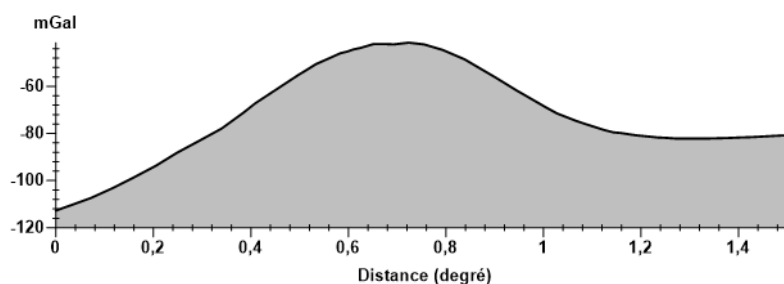
Les anomalies circulaires qui montrent des courbes fermées sont observées vers l'Ouest, au centre et au Sud. Les isoanomalies de forme proche d'un ellipsoïde sont visibles à l'Ouest et au Sud. Des zones de resserrement des contours d'isoanomalies constituant des zones de gradient de pesanteur plus élevé ou des gradins gravimétriques sont observées à l'Ouest et au Sud-Est.



**Fig.8: Interprétation des cartes gravimétriques**

L'interprétation qualitative des anomalies à l'aide des profils permet en outre, d'estimer grossièrement, les dimensions et la profondeur de la source de chacune des anomalies déjà identifiées. En ce qui concerne la forme, nous venons d'identifier au sein de notre secteur d'étude des anomalies de forme linéaire qui s'allongent dans la direction Nord-Ouest/Sud-Est, circulaire et grossièrement ellipsoïdales au Sud et à l'Ouest.

Pour les anomalies linéaires, il suffit donc d'interpréter un ou plusieurs profils recoupant perpendiculairement la structure qui est une coupe s'étendant de part et d'autre de la structure. En effectuant la coupe MN (Fig.9), l'axe principale de l'anomalie maximale s'allonge en direction NW/SE sur une longueur d'environ 194 Km et sa largeur est de 111Km sur une surface de 22.644 Km<sup>2</sup>.

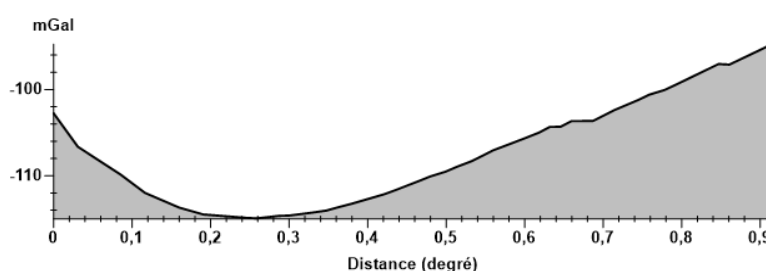


**Fig.9: Profil perpendiculaire à l'anomalie dans la zone Ouest de la cuvette centrale.**

En pratique, le sens du pendage du corps géologique produisant l'anomalie s'évalue qualitativement à partir de la dissymétrie du profil perpendiculaire à l'allongement de celle-ci. On constate que le gradient de densité est légèrement plus fort sur le flanc Nord-Est. Cette légère dissymétrie du profil indique que le sens du pendage du phénomène géologique est SW.

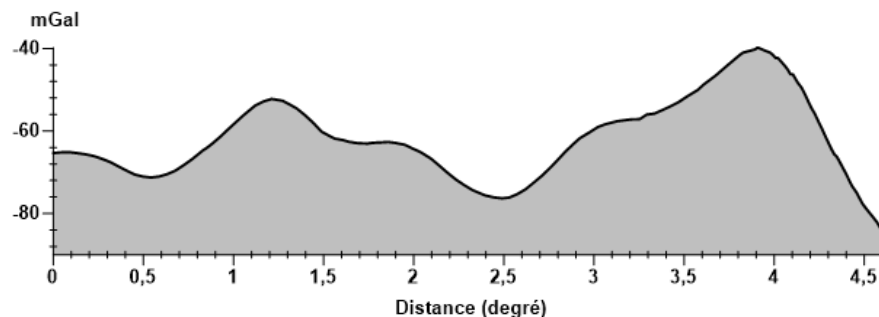
La profondeur d'enfouissement du corps géologique causant l'anomalie est assez difficile à estimer quantitativement. Cependant ; les expériences montrent que lorsque les flans d'une anomalie sont abrupts, plus la longueur d'onde est courte, moins grande est la profondeur d'enfouissement [9]. Au regard de ce qui précède, nous pouvons dire que la source de l'anomalie observée dans cette partie de notre secteur d'étude est suffisamment profonde.

De même pour l'anomalie minimale ou légère de cette même zone qui plonge sur un axe de 139 Km de longueur en direction NW/SE, sa largeur mesure plus ou moins 78 Km sur une surface de 10.738 Km<sup>2</sup>. La coupe M'N' (Fig.10.) montre un profil sur lequel on remarque une diminution rapide du gradient de densité sur le flanc Nord-Est. Ceci nous permet de considérer que le sens du pendage est vers le Nord-Est.



**Fig. 10: Profil de l'anomalie légère à l'Ouest de notre secteur d'étude.**

En considérant la coupe JM de la zone Sud de notre secteur d'étude (Fig.11), il ya lieu de noter les caractéristiques suivantes : Les anomalies de cette zone ont en général des formes elliptiques. Cette coupe nous présente un profil où le gradient de densité reste plus ou moins constant sur une distance de 55,5 Km et croit de -70 mGal à -45 mGal. Ce profil montre également une diminution très rapide du gradient de densité vers la fin soit de -40 mGal à -85 mGal.



*Fig. 11: Profil des anomalies dans le Sud de notre secteur d'étude.*

En comparant celle-ci avec la figure plus haut, il y a lieu de confirmer la présence d'un anticlinorium dans ce secteur.

### 3 MODELISATION DU SYSTEME PETROLIER

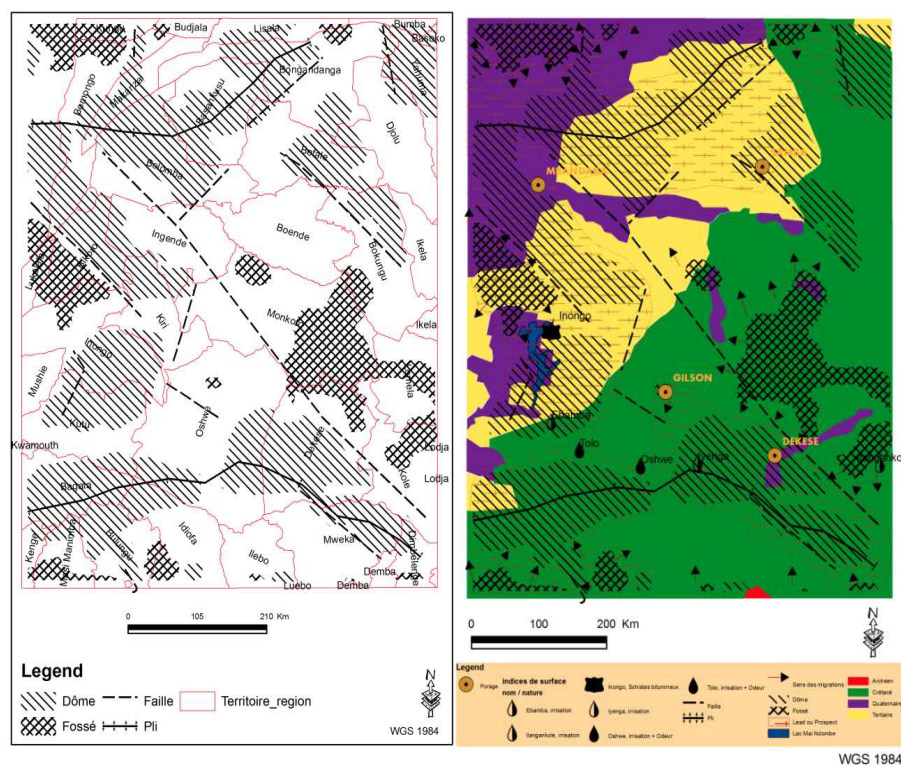
Pour répondre à l'objectif principal de ce travail, l'élaboration d'un modèle géologique du système pétrolier de notre secteur d'étude (Fig.12) s'est avérée très nécessaire. Les informations que fournit ce modèle sont issues de l'interprétation gravimétrique. Nous avons utilisé le logiciel ArcGIS en vue de mettre en évidence la géologie de surface de ce secteur et les indices de surface par numérisation des cartes préexistantes. Les informations sur les aspects structuraux sont issues uniquement de l'interprétation gravimétrique.

Ainsi, la géologie de surface montre la prédominance d'un terrain d'âge crétacé vers le Sud, l'Est et le Nord-Est. Dans la partie Nord-Ouest on note l'existence d'un terrain d'âge quaternaire, on signale également le tertiaire et l'archéen.

Partant des résultats de la gravimétrie, le modèle structural montre l'existence des fossés prédominant dans le crétacé, le quaternaire et un peu dans le tertiaire ; correspondant probablement aux aires de maturation des roches mères et par conséquent, les aires où les hydrocarbures de ce secteur auraient été générés.

Ce modèle signale aussi la présence des hauts fonds (dômes) au Sud, à l'Ouest, au Nord et vers le Nord-Est. Ces dômes sont associés à des structures antifformes vers le Sud, le Nord et quelques uns à des failles qu'on trouve à l'Ouest et au Sud-Est. Ces structures seraient les principaux pièges à pétrole qu'on peut rencontrer dans ce secteur. La corrélation de ces différents éléments avec le système pétrolier nous permet de situer le sens de migration des hydrocarbures qui seraient générés au sein des différents fossés.

Cinq principales voies de migration sont à noter : la voie du Sud qui conduirait le pétrole expulsé au Sud vers le Nord ; la voie du Centre qui conduirait le pétrole expulsé au centre vers le Sud, l'Ouest et le Nord ; la voie de l'Ouest qui drainerait le pétrole expulsé à l'Ouest vers les aires de piégeages de l'Ouest et enfin la voie du Nord qui drainerait le pétrole expulsé au Nord vers les pièges situés au Nord de notre secteur d'étude.



**Fig.12 : modèle géologique du système pétrolier de notre secteur d'étude qui fait partie intégrante du bassin sédimentaire de la cuvette centrale congolaise.**

#### 4 CONCLUSION

En guise de conclusion de ce travail et sans oublier qu'il s'agit ici d'une contribution de la gravimétrie à la modélisation géologique de ce secteur en rapport avec le système pétrolier, cette étude nous a permis d'aboutir aux résultats ci-après du point de vue Structural :

La présence des fossés d'effondrement qui sont les probables zones de maturation des roches mères et de génération des hydrocarbures :

- Au Nord vers les localités de Bomongo, Kungu, Budjala et Bongandanga ;
- Au Sud à Masi manimba, Idiofa, Bulungu et à Dimbelenge ;
- Au Centre vers Monkoto, Bokungu, Lomela et Kole ;
- A l'Ouest vers Bikoro, Inongo et Lukolela.
- La présence des dômes (hauts-fonds), probables pièges à pétrole
- Au Nord à Bolomba, Basankusu, Bongandanga et à Yahuma ;
- Au Sud vers Inongo, Kutu, Oshwe, Dekese, mweka et Dimbelenge ;
- A l'Ouest à Kiri, bikoro et à bomongo.
- La présence des failles de tendance générale Nord-Ouest/Sud-Est et Sud-Ouest/Nord-Est, probables pièges à pétrole

En outre ces éléments structuraux montrent un modèle de mise en place en Horsts et Grabens qui serait caractéristique de notre secteur d'étude, ceux-ci étant visible sur le diagramme en 3D. En plus des nombreux indices de surface que l'on rencontre dans le Sud de ce secteur, il se dégage que le pétrole serait généré dans les différents fossés précités et serait principalement piégé au sein des structures en failles de l'Ouest et du Sud-Est mais aussi dans les anticlinaux du Sud et du Nord.

En perspective d'avenir et pour une meilleure connaissance de ce bassin, nous estimons qu'en multipliant les compagnes de terrain (levé géologique, géochimique), réduisant la maille des investigations gravimétriques et magnétométriques, on parviendrait à bien localiser les endroits des nouvelles coupes sismiques, desquelles dépendrait l'emplacement des nouveaux forages qui conduiront à la mise en surface du premier baril du bassin sédimentaire de la cuvette centrale.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier la Compagnie Congolaise des Hydrocarbures pour avoir mis à notre disposition les données gravimétriques et magnétiques qui étaient à leur disposition.

## REFERENCES

- [1] Total, le monde pétrolier : Support de formation, cours d'exploration et production D1040, Paris, 2007.
- [2] E. Kadima, D. Delveaux, S.N. Sebagenzi, L. Tack and S.M. Kabeya, "Structure and geological history of the Congo Basin: an integrated interpretation of gravity, magnetic and reflection seismic data," *Bassin Research*, Vol. 23, no., no. 10.1111/j.1365-2117.2011.00500.X, pp. 499-527, 2011.
- [5] M. CARA, *Géophysique*, Ed. Dunod, BORDAS Paris, 1989.
- [6] M. LAVERGNE, *Méthodes sismiques*, Ed. Technip, Paris, 1986.
- [7] I. ABRIKASSOV et I. GOUTMAN, *Géologie du pétrole : Généralités, prospection et exploitation*, Ed. Mir-Moscou, 1982.
- [8] G. HENRY, *Géophysique des bassins sédimentaires*, Ed. Technip, Paris, 1994.
- [9] M. ALLARD et D. BOIS, *La géophysique appliquée à l'exploration minérale*. Ed. CCDMD, Montréal, 1999.
- [10] M. LAVERGNE, *Méthodes sismiques*, Ed. Technip, Paris, 1986.
- [11] B. GIROUX et M. CHATEAU, *Géophysique appliquée I. : Notes de cours de Gravimétrie*, Ecole Polytechnique de Montréal, Laboratoire de géophysique appliquée, 2008.

## Estimation de la croissance d'essences tropicales africaines à travers une méthode basée sur l'utilisation des outils SIG

### [ Estimating the growth of tropical African species through a method based on the use of GIS tools ]

C. Ilunga<sup>1</sup>, J. Komba<sup>2</sup>, F. Mbayu<sup>1</sup>, P. Sabongo<sup>3</sup>, and L. Ndjele<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculté de gestion de ressources naturelles renouvelables, Université de Kisangani, RD Congo

<sup>2</sup>Compagnie Forestière et de Transformation, RD Congo

<sup>3</sup>Faculté de Sciences, Université de Kisangani, RD Congo

Copyright © 2017 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Data relative to trees growth rates seems fragmentary for many tropical species in the Congo Basin, and several studies question the growth diameter values used by the government. In this study, an approach for tree-ring measurement using Geographic Information System tools (softwares ArcMap and Photoscan) was tested on two commercial species from tropical African rainforest (Iroko- *Milicia excelsa* and Afrormosia- *Pericopsis elata*). The aim of this study was to evaluate the precision gain of the GIS tools used in the estimates of diameter increments and to compare the results with the values recommended by the Congolese Forest Administration (DRC). Diameter increments were calculated through semi-automatic procedure to the nearest  $10^{-5}$  mm. For all classes of diameter, the mean annual increment is 6.65mm/year for iroko and 4.66mm/year for afrormosia. We observe that the values used by the forest authority (5mm/year and 4 mm/year for iroko and afrormosia respectively) seem to under-estimate growth rhythms. The method used can be applied to other commercial tree species with distinct and annual tree-rings for providing new data in order to fill knowledge gaps on the growth rates of tropical trees.

**KEYWORDS:** Diameter increment, tree-ring analysis, Geographic information system, semi-deciduous forest, Democratic Republic of Congo.

**RESUME:** Les données sur les rythmes de croissance des arbres sont fragmentaires pour de nombreuses essences commerciales dans le Bassin du Congo, et plusieurs études mettent en doute les valeurs de paramètres dendrométriques fournies par l'administration forestière. Dans cette étude, une approche d'analyse de cernes, basée essentiellement sur l'utilisation des outils Système d'information Géographique (logiciels ArcMap et Photoscan), a été expérimenté sur deux essences commerciales de forêts d'Afrique tropicale (Iroko- *Milicia excelsa* et Afrormosia- *Pericopsis elata*). L'objectif de ce travail a été d'évaluer le gain de précision que fourniraient les outils SIG utilisés dans les estimations d'accroissements et de comparer les résultats à aux valeurs préconisées par l'administration forestière congolaise (RDC). Les accroissements ont été calculés à travers une procédure semi-automatique avec une précision de  $10^{-5}$ mm près. Pour toutes les classes de diamètres confondues, les valeurs d'accroissement annuel moyen sont de 6,65 mm/an pour l'iroko et 4,66 mm/an pour l'afrormosia. Nous constatons que les valeurs fixées par l'administration forestière (5 mm/an et 4 mm/an respectivement pour l'iroko et l'afrormosia) semblent sous-estimer les accroissements. La méthode utilisée mérite d'être appliquée à d'autres essences commerciales à cernes distincts et annuels pour fournir de nouvelles données et combler notamment les fossés de connaissances sur les rythmes de croissance des arbres tropicaux.

**MOTS-CLEFS:** Croissance diamétrique, analyse de cernes, Système d'information géographique, forêts semi-décidues, République Démocratique du Congo.

## 1 INTRODUCTION

Les connaissances sur les rythmes de croissance ne sont pas bien connues pour de nombreuses espèces tropicales du Bassin du Congo [1], [2]. Or, ces données sont importantes pour appliquer les stratégies d'aménagement durable qui reposent essentiellement sur deux principes: la garantie de la reconstitution du stock exploitable et la planification de la récolte dans l'espace et dans le temps afin de garantir une régularité de l'approvisionnement en bois [3], [4]. La vitesse de croissance des arbres est particulièrement l'un des paramètres clés qui détermine le renouvellement du stock exploitable.

Plusieurs méthodes et techniques sont de nos jours connues pour estimer les rythmes de croissance des arbres [5]. A notre connaissance, deux techniques sont couramment employées en Afrique tropicale : les mesures répétées de diamètre pendant une période donnée et l'analyse de cernes. Les mesures répétées de diamètre sont employées, depuis plusieurs années, au sein d'un grand nombre de dispositifs permanents de suivi disséminés le Bassin du Congo. Bien que les dispositifs permanents aient significativement contribué à l'acquisition de principales données utilisées par les administrations forestières, la plupart des expériences de suivi périodique de croissance n'ont pas été menées sur une période suffisamment longue pour couvrir la vie d'un arbre (plus de 30 ans) [6]. Or, une période assez longue de suivi ( $\geq 30$  ans) est nécessaire pour obtenir des estimations fiables de taux de croissance des arbres, étant donné que la vitesse de croissance varie en fonction de stade de développement (âge) des arbres et des conditions environnementales.

Parallèlement aux dispositifs permanents, les analyses de cernes sont aussi utilisées pour les estimations de croissance des arbres, particulièrement sur les espèces possédant de cernes bien visibles et anatomiquement distincts avec une périodicité de formation connue. Les techniques d'analyse de cernes permettent de réaliser de mesures directes d'accroissement diamétrique sur la section transversale d'un arbre; et à partir du moment où une date (ou année) est attribuée à chaque cerne, on parle de la dendrochronologie. De par sa capacité de retracer l'histoire des arbres dans les cernes, la dendrochronologie est une discipline de plus en plus utilisée présentant de nombreuses opportunités de recherche pour évaluer l'impact des conditions environnementales sur la croissance des espèces et comprendre la dynamique des forêts tropicales [7], [8], [9], [10], [11]. L'analyse de cernes présuppose une préparation des échantillons de bois par deux différentes techniques: la coupe sur l'échantillon fraîchement récolté à l'aide d'un outil tranchant type cutter (planage) ou le ponçage de la surface de bois après séchage [12]. Bien que le ponçage présente de nombreux avantages (gain de temps et amélioration de la surface à traiter), certains redoutent un rétrécissement de largeurs de cernes pendant le séchage, ce qui peut induire une modification d'informations par rapport à l'échantillon frais. Pour surmonter ce problème de rétrécissement et d'autres limites de méthodes d'analyses actuellement utilisées, Latte et al. [13] a mis au point une approche de préparation d'échantillons de bois et de mesures de largeurs de cerne. Cette approche se base sur les potentialités fournies par les outils informatiques en Géomatique, notamment les logiciels de traitements d'images et le Système d'Information Géographique (SIG). Pouvant permettre les mesures sur des arbres très volumineux, la méthode préconisée par Latte et collaborateurs offre les possibilités d'analyses de cernes sur les espèces de forêts tropicales.

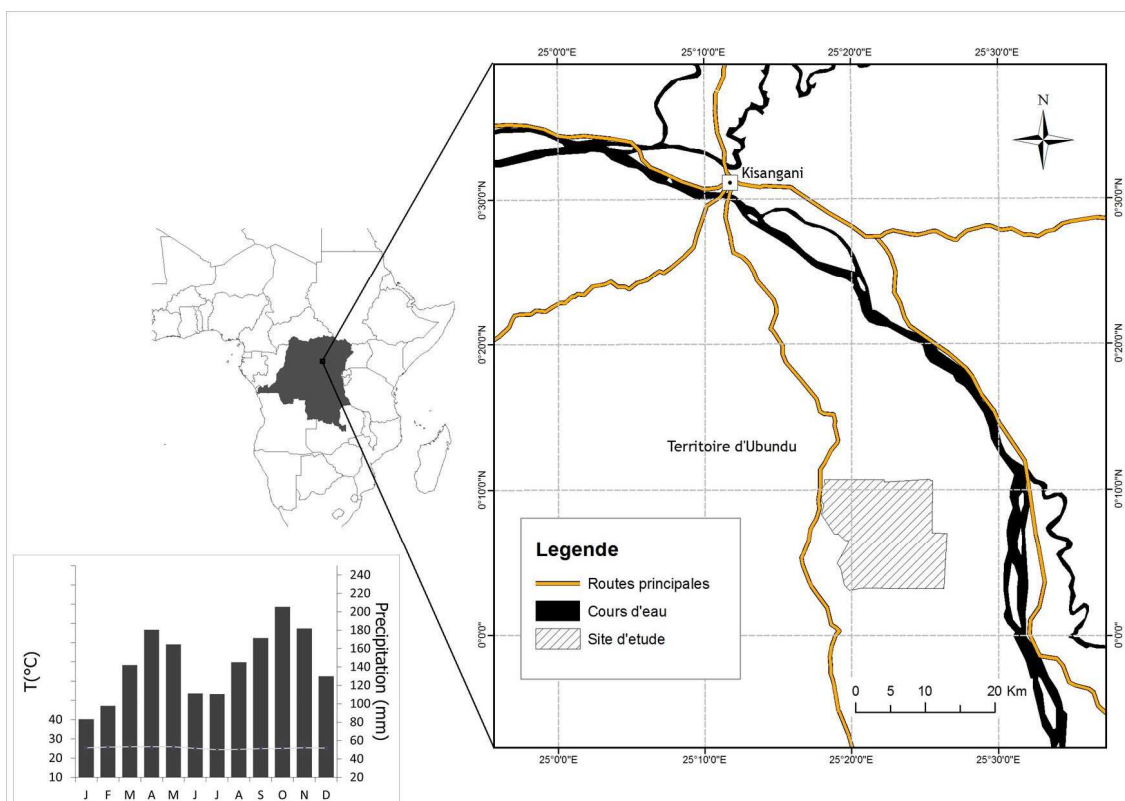
Dans cette étude, cette méthode d'analyses de cernes récemment développée a été expérimentée sur deux espèces ligneuses tropicales d'Afrique Centrale, l'Afrormosia (*Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen) et l'Iroko (*Milicia excelsa* (Welw.) C.C. Berg). L'objectif de ce travail a été, d'une part, d'évaluer le gain de précision que fourniraient les outils SIG utilisés dans les mesures de largeurs de cernes, et d'autre part, de comparer à titre exploratoire les valeurs d'accroissement obtenues à celles préconisées par l'administration forestière congolaise.

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1 SITE D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée avec l'appui technique de la Compagnie Forestière et de Transformation (CFT), opérant au Nord-Est de la RDC. Les échantillons ont été prélevés précisément au sein de la Concession 046/11 de la dite société, située au sud de la ville de Kisangani, entre 0°30' Nord à 0°10' Sud de latitude et 25°00' à 25°35' de longitude Est (Fig.1). La forêt tropicale de la région fait partie de la zone de végétation "Guinéo-Congolaise" définie par Ndjele [14] et recèle un massif forestier doté d'une grande diversité de formations végétales, parmi lesquelles on peut citer les forêts à Limbali (*Gilbertiodendron dewevrei*), les forêts à forte abondance de Bomanga (*Brachystegia laurentii*) et les peuplements jeunes présentant des espèces exploitables telles que l'Acajou d'Afrique (*Khaya anthotheca*), le Sapeli (*Entandrophragma cylindricum*), l'Afrormosia (*Pericopsis elata*) et l'Iroko (*Milicia excelsa*). Dans cette région, le relief est relativement plat (Pente  $< 10\%$ ). Le sol composé d'un mélange d'argile et de sable, présente de bonnes propriétés chimiques, mais sa fertilité chimique est limitée à cause de la faible capacité d'échange cationique (2-8 mEq/100g), la faible acidité (pH 3,5-5,5) ainsi que la faible rétention du phosphore sur les oxydes de Fer [15]. Le climat de la région correspond au type Af, suivant le système de classification de Köppen [16]. La moyenne annuelle de précipitation varie entre 1500 et 2000 mm et il n'existe pas de saison sèche au sens strict (mois de précipitations  $< 50$  mm),

bien que les périodes Janvier-Février et Juin-Juillet sont particulièrement dominées par des conditions sèches. La température moyenne annuelle est de 25°C avec de variations interannuelles faibles ; et l'humidité annuelle moyenne varie entre 90% et 95% [17].



**Fig.1. Localisation géographique du site d'étude dans la région de Kisangani (République Démocratique du Congo). La zone hachurée représente l'aire de la concession où les échantillons de bois ont été prélevés. Le diagramme ombrothermique a été construit à partir des données météorologiques de l'aéroport de Kisangani pour la période de 1976-2005 [18].**

## 2.2 ESPÈCES CIBLÉES

*M. excelsa* (Welw.) C.C. Berg (Iroko) et *P. elata* (Harms) Meeuwen (Afromosa/ Assamela) sont les deux espèces ciblées dans le cadre de notre expérimentation. Les informations générales sur ces deux essences forestières sont présentées dans le tableau 1. *M. excelsa* est une espèce largement distribuée dans l'ensemble des forêts tropicales d'Afrique Occidentale, Centrale, Australe [19], [20], [21]. Par contre, *P. elata* est une espèce grégaire qui a une distribution discontinue en Afrique Centrale [15], [17]. Les deux espèces sont exploitées pour le bois dans les pays du Bassin du Congo: Cameroun, Gabon, Congo, République Démocratique du Congo (RDC), République centrafricaine. En RDC, l'afromorsia et l'iroko représentaient respectivement 10% et 7% de la production nationale, estimée à environ 4 millions de mètres cubes (m³) en 2007 [22], [23]. A cause de la surexploitation dans certains pays, *M. excelsa* et *P. elata* figurent actuellement parmi les espèces menacées d'extinction (liste rouge des essences ligneuses de l'UICN et/ou CITES) [24].

**Tableau 1. Brève description des espèces ciblées. DME : Diamètre Minimum d'Exploitation, AAM : Accroissement Annuel Moyen [25]; Distribution géographique : Ac- Afrique Centrale, Ao- Afrique de l'Ouest, Ae- Afrique de l'Est ; Habitat : Fs-Forêts denses sempervirentes, Fd- Forêts denses semi-decidues/decidues, Sv- savanes (Source : African Plants Database<sup>1</sup>)**

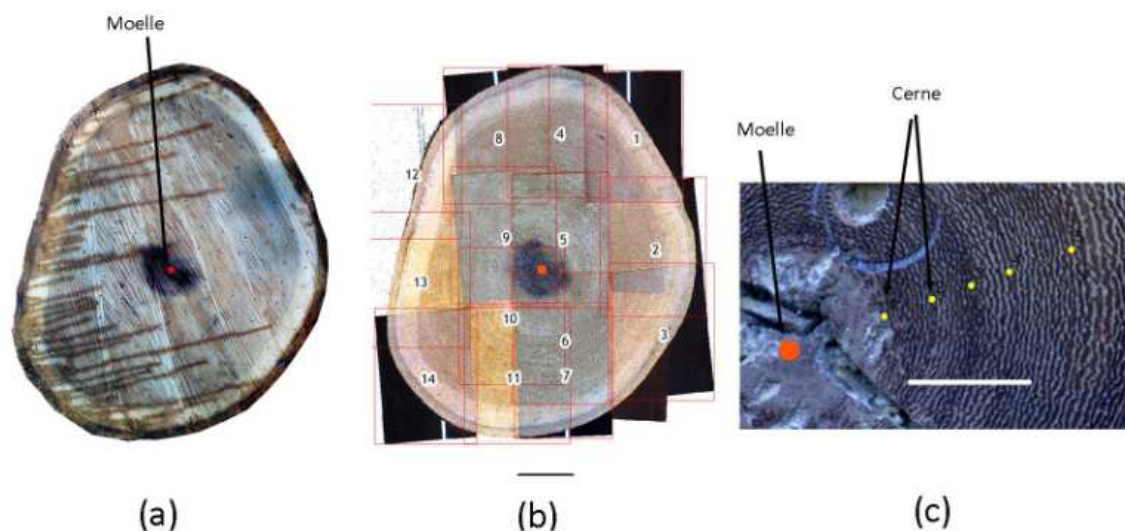
| Espèces    | Famille botanique | Nom commercial      | DME (cm) | AAM réf (mm/an) | Distribution géographique | Habitat    |
|------------|-------------------|---------------------|----------|-----------------|---------------------------|------------|
| P. elata   | Fabaceae          | Afrormosia/Assamela | 60       | 4               | Ao, Ac                    | Fs, Fd, Sv |
| M. excelsa | Moraceae          | Iroko / Kambala     | 80       | 5               | Ac, Ao, Ae                | Fd         |

### 2.3 ECHANTILLONNAGE ET PREPARATION DES ECHANTILLONS DE BOIS

Un total de 11 rondelles d'Iroko et 5 d'afrormosia ont été prélevées sur des arbres abattus au sein de l'Assiette Annuelle de Coupe 2014 de la concession de la CFT. Pour l'afrormosia, le nombre d'arbres échantillonnés est davantage réduit suite notamment à certaines contraintes liées à l'abattage des espèces CITES dont elle fait partie. Les rondelles prélevées correspondent à des disques de 10 à 15 cm d'épaisseur et de diamètre supérieur ou égal au DME de deux espèces. La première étape de la préparation a consisté à prendre des photos de la surface des disques de tige avec un appareil photo. Les photographies ont ensuite été assemblées, à l'aide du logiciel Photoscan v1.0 (Agisoft, Carshalton, UK), pour générer l'ortho-image de la rondelle fraîche (Fig. 2a). Les disques ont ensuite été séchés à l'air libre (pendant 72 heures, température de l'air ambiant autour de 25 °C) et poncés, en utilisant de papiers abrasifs de différents grains (40, 80, 100, 120, 240, 400 et 1000).

### 2.4 ACQUISITION DE DONNÉES NUMÉRIQUES

Les sections transversales de disques poncés ont été balayées par un scanner A4 plat (A4-Epson Perfection V500). La numérisation a été réalisée à de résolutions de 1200 à 1600 dpi ; environ 20 scans ont été nécessaires pour couvrir un disque de 90 cm de diamètre. Les scans ont ensuite été géoréférencés dans un système de coordonnées métriques sur ArcMap (ArcGIS 10, ESRI, Redlands, CA, USA). La correspondance entre l'ortho-image de la rondelle fraîche et les scans a permis de produire l'image intégrale de la surface à haute résolution (Fig.2b) avec les dimensions de l'échantillon frais, sans rétrécissements dus au séchage. Sur l'image à haute résolution, la moelle et les limites de cernes sont matérialisées par des points (ou marqueurs) à l'aide des outils de digitalisation (Edition) disponible sur ArcMap. Pour cette première expérimentation, la digitalisation a été réalisée suivant un seul rayon par arbre échantillonné.



**Figure 2- Phases de préparation de bois et acquisition de données : (a) Ortho-image de la rondelle fraîche construite à partir des photos et les points de calage (trous) ; (b) Image haute résolution de la surface poncée générée par référencement des scans (échelle : 200 mm) et (c) Marquage de cernes « points jaunes » (échelle : 10 mm).**

<sup>1</sup> <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa>.

Une fois tous les cernes marqués, la fonction "Point Distance", toujours dans ArcMap, a permis de calculer les distances de chaque point marqué (cerne) par rapport à la moelle en terme de rayons à partir desquels on peut déduire les largeurs de chaque cernes (Fig.2c). Toutes les mesures sont effectuées automatiquement à une précision de plus de 10-5 mm près.

## 2.5 ESTIMATION DES ACCROISSEMENTS ET ANALYSES STATISTIQUES

Les séries de largeurs de cernes constituent le produit final des opérations de préparation et traitements des échantillons. Normalement, les largeurs de cernes cumulées doivent correspondre plus ou moins à la moitié du diamètre intérieure sous l'écorce de chaque arbre. Pour ce faire, une méthode de correction est appliquée aux séries de largeur de cernes pour éviter toute sous- ou surestimation du diamètre réel de l'arbre échantillonné. Un facteur de correction a été calculé, pour chaque disque, en utilisant l'équation suivante [11]:

$$\text{Facteur de correction (FC)} = D_{IC} / D_{IR} \quad (\text{Equation 1}),$$

Où  $D_{IC}$  correspond au diamètre maximal sous l'écorce estimé à partir de la longueur du rayon considéré (ou cumulation de largeurs de cernes) et  $D_{IR}$  est le diamètre intérieur réel sous l'écorce mesuré au ruban sur la section transversale poncée du disque. Pour l'ensemble des échantillons de disques, les valeurs de facteur de correction varient entre 0,723 et 1,332, avec une moyenne de 1,019 (annexe 1). Toutes les valeurs de largeurs de cernes obtenues ont été ainsi divisées par ce facteur de correction pour avoir de bonnes estimations d'accroissement diamétrique.

Les analyses statistiques réalisées ont essentiellement consisté aux tests portant la comparaison de séries de données [26], [27] à l'aide de R [28]. Pour chaque espèce, un test t de Student a été fait pour la comparaison d'accroissements annuels moyens (AAM) obtenus à la valeur de référence préconisée par l'administration forestière nationale (Tableau 1). De plus, leurs valeurs d'accroissements par classe de diamètre (intervalle de 10 cm) ont été comparées par le test de Kruskal-Wallis.

## 3 RESULTATS

### 3.1 CARACTÈRES GÉNÉRAUX DE CERNES D'IROKO (*M. EXCELSA*) ET D'AFRORMOSIA (*P. ELATA*)

Les images haute résolution (1200 -1600 dpi) issues du scannage de la surface poncée de nos disques laissent apparaître clairement quelques caractères généraux de cernes pour les deux espèces en étude. Pour les deux espèces, deux éléments ont été souvent observés dans les limites de cernes : le parenchyme marginal majoritairement et/ou les fibres aplaties. Le parenchyme se présente en fines bandes souvent discontinues, se distinguant d'autres types de parenchymes (confluents et aliformes) par sa forme. Sur les scans utilisés, les fibres aplaties formant la limite de cernes sont généralement difficiles à distinguer contrairement aux bandes de parenchyme marginal.

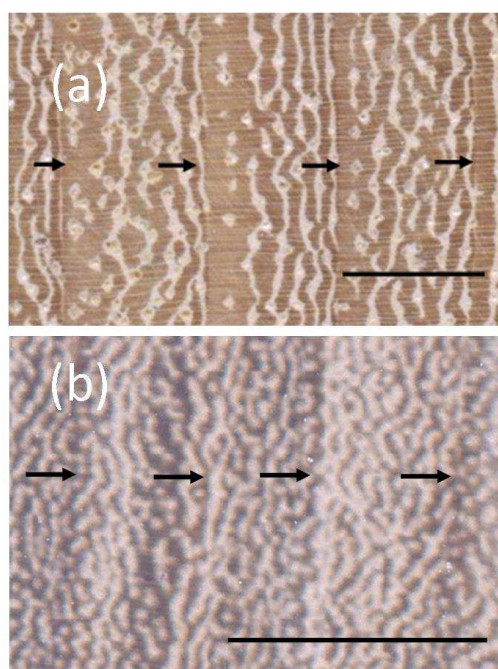


Fig. 3- Images de la section transversale du bois illustrant les limites de cernes : (a) Iroko- *M. excelsa* et (b) Afrormosia- *P. elata*.

Dans la plupart de cas, les caractères de fibres aplaties se traduisent visuellement par une coloration plus sombre dans les tissus fibreux du bois final. Il convient de préciser que le parenchyme marginal apparait majoritairement dans les limites de cernes pour *M. excelsa* (Fig.3a), tandis que la présence de fibres aplaties est plus fréquemment observée dans les bois de *P. elata* (Fig.3b). Quelques anomalies sont présentes dans les bois de deux espèces, notamment les faux cernes et les cernes nuls ou partiels (connu sous le terme anglais de « wedging ring »), mais leur occurrence n'a pas été déterminée dans le cadre de la présente étude.

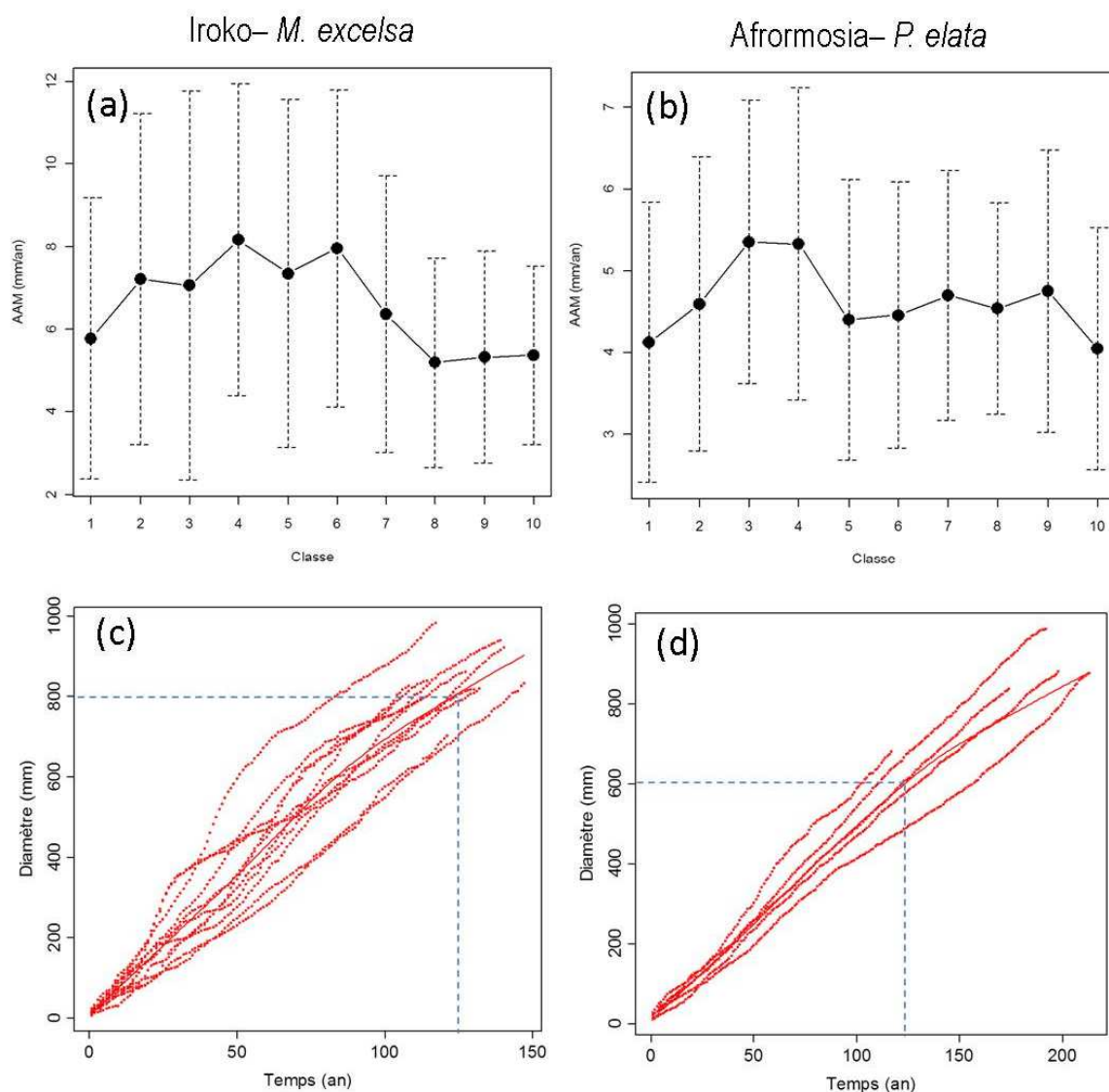
### 3.2 ESTIMATION DE LA CROISSANCE DIAMÉTRIQUE

L'accroissement diamétrique moyen, tous les diamètres confondus, est de 6,65mm/an pour l'iroko (*M. excelsa*) et 4,66 mm/an pour l'Afrormosia (*P. elata*). Les valeurs préconisées par l'administration forestières sont reprises dans la première colonne du tableau 2 pour comparaison.

**Tableau 2. Comparaison des valeurs d'accroissement de référence (AAM réf) utilisées par l'administration forestière aux accroissements moyens observés par essence AMM. Les valeurs indiquées en italique correspondent aux écartypes ( $\pm$  Ec).**

| Essence                       | AMM réf<br>(mm/an) | Nombre d'arbres | DHP<br>(cm)    | AAM<br>(mm/an) $\pm$ Ec |
|-------------------------------|--------------------|-----------------|----------------|-------------------------|
| Iroko<br><i>M. excelsa</i>    | 5                  | 11              | 90 $\pm$ 10.9  | 6.65 $\pm$ 3.76         |
| Afrormosia<br><i>P. elata</i> | 4                  | 5               | 86.6 $\pm$ 9.8 | 4.66 $\pm$ 1.71         |

Les accroissements annuels moyens observés sont supérieures aux valeurs de référence de l'administration (30% de plus pour l'Iroko et 15% pour l'Afrormosia), et ces différences ont été statistiquement prouvées par le test *t* de Student ( $p < 0,005$ ). Les résultats montrent également que l'accroissement diamétrique varie en fonction du diamètre des arbres au sein d'une même espèce. Les figures 4 (a et b) représentent les moyennes d'accroissements par classe de diamètre (avec l'écartype) et donnent de plus une idée de l'accroissement courant dans le temps. On constate que les deux espèces présentent un accroissement moyen courant soutenu au stade juvénile mais qui diminue ensuite avec le temps. L'iroko présente un accroissement moyen légèrement croissant dans les classes de 0-60 cm de diamètre ; et à partir de 70 cm, le rythme de croissance devient décroissant. Le test de Kruskal-Wallis a montré un effet significatif de la variable « classe de diamètre » au seuil de 1% ( $\chi^2 = 104,33$  ;  $p\text{-value} < 0,001$ ). L'accroissement moyen entre les diamètres 60-80 cm, c'est-à-dire le stock exploitable lors de la prochaine rotation avec un DME fixé à 80 cm, est de 6,46 mm avec un écart-type de 3,53. Les accroissements dans les classes de diamètre au-dessus du DME sont légèrement inférieurs aux accroissements des autres diamètres. La figure 4c représente l'évolution d'un arbre moyen (courbe de lissage), lequel atteint le DME (80 cm) autour de 125 ans.



**Fig.4. Accroissements diamétriques annuels moyens (AAM/an) par classe de diamètres et évolution de diamètre dans le temps pour les espèces en étude : Iroko et Afrormosia. Les graphes de moyennes (a-b) donnent les moyennes d'AAM pour classe de diamètre (intervalle de 100 mm) et les nuages de points (c-d) correspondent l'évolution de diamètres cumulés avec une courbe de lissage illustrant l'arbre moyen.**

*P. elata* est caractérisé par un accroissement diamétrique moyen moins élevé que *M. excelsa*. L'accroissement courant moyen est légèrement croissant au cours du temps dans les classes de diamètre compris entre 0 et 40 cm, et décroît petit à petit dans les classes supérieures (Figure 4b). Les accroissements moyens annuels sont significativement différents entre les classes de diamètre (Kruskal-Wallis = 47,95 ;  $p < 0,001$ ). L'accroissement moyen entre les diamètres 40-60 cm (stock exploitable lors de la prochaine rotation) est de 4.68 mm/an avec un écart-type de 1.68.

#### 4 DISCUSSIONS

Les expérimentations réalisées dans le cadre de cette étude avaient pour objectif de fournir les valeurs d'accroissements de deux essences commerciales, iroko (*M. excelsa*) et Afrormosia (*P. elata*), en utilisant une méthode basée sur l'utilisation des outils SIG et de comparer les valeurs d'accroissements fournies aux valeurs de référence de l'administration forestière. Nous avons échantillonné un nombre réduit d'individus (soit 16 arbres au total) car l'idée première était tout d'abord de tester la méthode avant de se lancer vers les études de grande envergure. Les valeurs d'accroissement annuel moyen obtenues sont de 6.65 mm/an pour l'iroko et 4.66 mm/an pour l'Afrormosia. Elles sont significativement différentes de valeurs de l'administration forestière, surtout pour l'iroko. La valeur moyenne observée pour l'iroko est supérieure à celle d'Afrormosia

comme c'est le cas dans le document officiel de l'administration forestière. Considérant le fait que les récentes études [2], [6], [26] mettent en doute les valeurs de paramètres dendrométriques fournies par l'administration forestière dans le Bassin du Congo, il est probable que les valeurs utilisées par l'administration forestière en RDC sous-estiment les accroissements diamétriques tel que les résultats de cette étude l'ont démontré.

Dans l'ensemble, les tendances observées en termes de valeurs moyennes par espèce ou par classe de diamètres se rapprochent quelque peu des résultats de certaines études antérieures menées sur les mêmes espèces dans le Bassin du Congo. Les études sur le *P. elata* ont particulièrement circonscrites à deux pays principaux de sa zone de distribution, à savoir la RDC et le Cameroun. Dans la région de Yangambi (RDC), Schmitz (1962, in [29]) a trouvé des AAM de 6,8 mm (11 arbres) pour le *P. elata* sur base d'analyse de cernes tandis que Boyemba [17] a obtenu des AAM de  $4.2 \pm 1.4$  mm à travers le suivi de 442 arbres dans les parcelles permanentes. Dans une étude plus récente portant toujours sur le *P. elata* au Cameroun, Fétéké et al. [2] ont fourni les accroissements diamétriques de  $4.2 \pm 0.005$  mm/an et de  $4.7 \pm 0.04$  mm/an respectivement en milieux forestiers non exploités et exploités (prélèvement de 0.8 tiges/ha). La plupart des études sur l'Iroko, incluant à la fois *M. excelsa* et *M. regia*, ont principalement été menées en Afrique de l'Ouest et de l'Est [20]. Pour l'Afrique Centrale, les quelques recherches, à notre connaissance, ayant porté sur les analyses de cernes sur le *M. excelsa* sont présentés dans le tableau 3. Pour l'Afrique Centrale, les quelques recherches à notre connaissance, ayant porté sur les analyses de cernes sur le *M. excelsa* sont présentés dans le tableau 3 ci-dessous. La plupart d'analyses de cernes menées dans les peuplements naturels ont fourni de valeurs d'AAM autour de 5 mm/an, à l'exception de l'étude de Détéienne [30]. Les AAM de 10,8 mm trouvés par Détéienne semblent normaux par rapport aux diamètres des arbres en observation ( $\leq 35$  cm) et peuvent aussi s'expliquer par les conditions locales (pluies, compétition, disponibilité de la lumière) qui conditionnent la croissance. En effet, comme l'ont mentionné certains auteurs [30], [31], le bois juvénile (0-30 cm de diamètre) a souvent une croissance très soutenue et réagit différemment aux conditions environnementales comparée au bois mature.

**Tableau 3. Valeurs moyennes de l'accroissement annuel en diamètre observé pour quelques études menées dans le Bassin du Congo.**

| Source | Localisation              | Type de forêts                        | Approches utilisées                                                     | Echantillon (N)            | AAM (mm/an) |
|--------|---------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------|
| [30]   | Cameroun et Cote d'Ivoire | Forêts denses naturelles (-)          | Blessures cambiales, Mesures périodiques de circonférence               | Disque (10)                | 10,8        |
| [32]   | République Centrafricaine | Forêts denses semi-décidues (1665 mm) | Analyse de cernes (œil et loupes) à l'échelle macroscopique             | Disque (11)                | 5,1         |
| [33]   | République Centrafricaine | Forêts denses semi-décidues (1490 mm) | Comptage et mesures de cernes (œil et loupes) à l'échelle macroscopique | Disque (11)                | 5,1         |
| [34]   | République Centrafricaine | Forêts denses semi-décidues (1490 mm) | Comptage et mesures de cernes (œil et loupes) à l'échelle macroscopique | Disque (45)                | 5,5         |
| [35]   | Cameroun                  | Forêts denses décidues (1644 mm)      | Comptage et mesures à partir de TSAP*, Chronologie (Crossdating).       | Disque (18) + carotte (16) | 5,5         |

En République Centrafricaine, la plupart de recherches [32], [33], [34] ont fourni des AAM variant de 5 à 5,5 mm en forêts denses semi-décidues. Le même résultat (5,5 mm/an) a été obtenu par Nzogang [35] au Cameroun en forêts denses décidues. On constate par ailleurs que les accroissements annuels sont légèrement décroissants avec le temps pour Durrieu de Mandron [34], alors qu'une tendance inverse est relevée par Nzogang [35] dans les classes de diamètre compris entre 40-100 cm.

L'examen des données des études susmentionnées confirme le fait que l'accroissement diamétrique varie en fonction de l'espèce et de la gamme de diamètres ainsi que la zone géographique d'échantillonnage des arbres devant servir au calcul. De plus, le choix de méthodes d'investigations des rythmes de croissance peut aussi expliquer les différences en termes de résultats. Contrairement à d'autres méthodes d'analyses de cernes, l'approche utilisée tient compte de possibles rétrécissements en phase de séchage [13]. L'effet de rétrécissements sur les mesures de cernes semble varier en fonction des espèces, c'est-à-dire les caractéristiques physico-chimiques de leur bois. Cela peut aussi expliquer que les disparités entre les valeurs d'AAM obtenues par cette étude et celles des études antérieures se situent à de seuils différents selon les espèces. Les comparaisons approfondies entre certaines données restent difficiles à l'absence de renseignements relatifs aux caractéristiques de l'échantillon et les méthodes de mesure utilisées.

## 5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'approche utilisée s'appuie sur les potentialités fournies actuellement par les images numériques et le système d'informations géographiques (SIG). Cette étude a permis particulièrement de cerner nombreux avantages associés à cette méthode : la prise en charge des arbres de gros diamètres, la facilité de partage de données, la précision dans les mesures, etc. Cependant les valeurs d'accroissements obtenues dans le cadre de cette étude ne sont pas directement à recommander dans le cadre de plan d'aménagement ; les expérimentations méritent d'être réitérées dans d'autres milieux avec un nombre plus important d'arbres et sur d'autres essences commerciales pour confirmer les tendances ou les différences observées.

Quelques améliorations peuvent être apportées à l'approche utilisée pour figurer les résultats. L'expérience réalisée a montré que la qualité des résultats dépend de performances obtenues à chaque stade de traitements. La construction des ortho-images et le référencement des scans sont particulièrement les phases les plus délicates qui mériteraient beaucoup plus d'attention à notre avis. En phase de digitalisation, les cernes de croissance sur la section transversale du bois doivent être également bien identifiés et leurs limites marquées de manière précise. La méthode utilisée ne permettant pas de réaliser une détection automatique de cernes, l'identification et le marquage des cernes exigent des connaissances préalables sur la structure anatomique des espèces tropicales. Pour le cas de l'iroko et l'afrormosia, les bandes de parenchyme marginal formant les limites de cernes ont été en général facilement détectables sur les scans aux résolutions de 1200 à 1600 dpi (Dimension A4) mais l'identification de tissus fibreux paraît plus difficile. Pour les études à venir, il serait pertinent de réaliser le scannage à des résolutions plus élevées (soit 2000 à 2500 dpi) pour améliorer davantage la visibilité des éléments de la structure anatomique de bois. La digitalisation de cernes a consisté un simple marquage de limites de cernes par des points (marqueurs) dans le cadre de notre étude. Il est recommandé d'explorer les possibilités de digitalisation en barreau ou en disque tel que suggéré par les études antérieures et comparer éventuellement les résultats.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié de l'appui financier du projet FCCC (Forêts et changement Climatique au Congo). Nos remerciements s'adressent à toutes les institutions partenaires à ce projet (CIFOR, Université de Kisangani, Musée Royal de l'Afrique Centrale, Faculté de Gembloux Agro-Biotech). Nous remercions en particulier le professeur Philippe Lejeune de Gembloux (Belgique) et le docteur Hans Beeckman pour ces conseils et orientations en phase de préparation et de traitements de données et la CFT (Compagnie Forestière et de Transformation) pour l'appui logistique dans la récolte des données.

## REFERENCES

- [1] A. Mariaux, "Les cernes dans les bois tropicaux africains: Nature et périodicité", Bois et Forêts des Tropiques, no. 113:3-14, 1967.
- [2] F. Feteke, N. Bourland, Y.L. Kouadio, S.L. Moneye, C. Bekono, J.L. Doucet, P. Lejeune, M. Yem Liboum M., " Modéliser la croissance de quatre essences pour améliorer la gestion forestière au Cameroun ", Bois et Forêts des Tropiques, vol.4, no. 325: pp. 5–20, 2015.
- [3] L. Durrieu de Madron et E. Fourni, "Aménagement forestier dans l'Est du Cameroun", Bois et Forêts des Tropiques, vol.4, no. 254, pp.39–49, 1997.
- [4] C. Fargeot, E.Forni, R. Nasi, " Réflexions sur l'aménagement des forêts de production dans le bassin du Congo ", Bois et Forêts des Tropiques, vol.3, no. 281, pp.19–34, 2004.
- [5] M. Worbes, "How to measure growth dynamics in Tropical trees", IAWA Journal, vol.16, no.4, pp.337-351, 1995.
- [6] N. Picard, S. Gourlet-fleury, *Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le Bassin du Congo*. COMIFAC, 265 p, 2008. [Online] Disponible : <http://hal.cirad.fr/cirad-00339816>.
- [7] M. Worbes, *Forest growth in the Tropics*. Short script. Freiburg, Allemagne, 23 p, 2001.
- [8] M. Worbes, R. Staschel, A. Roloff and W.J. Junk, "Tree ring analysis reveals age structure , dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon". *Forest Ecology and Management*, no.173, pp. 105–123, 2003.
- [9] R.J.W. Brien and P. A Zuidema., "Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis", *Journal of Ecology*, no. 94, pp. 481–493, 2006.
- [10] R.J.W. Brien and P. A Zuidema, "The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species", *Forest Ecology and Management*, no. 226, pp. 256–267, 2006.
- [11] C. Mbow, S. Chhin, B. Sambou and D. Skole, "Potential of dendrochronology to assess annual rates of biomass productivity in savanna trees of West Africa", *Dendrochronologia*, no. 31, pp. 41–51, 2013.
- [12] Burnel L. et Pélassier C., *Méthode de préparation d'échantillons de bois feuillus pour utilisation en dendrochronologie*. Cahier technique INRA, 66: 5–12, 2009.

- [13] N. Latte, H. Beeckman, S. Bauwens, S. Bonnet, P. Lejeune, "A novel procedure to measure shrinkage-free tree-rings from very large wood samples combining photogrammetry, high-resolution image processing and Gis tools", *Dendrochronologia*, no.34, pp.24-28, 2015.
- [14] L. Ndjele, *Les éléments phytogéographiques endémiques dans la flore vasculaire du Zaïre*. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Labo. Bot. Syst. & Phyt., Bruxelles, Belgique, 528 p., 1988.
- [15] M. De Ridder, B. Toirambe, J. Van den Bulcke, N. Bourland, J. Van Acker, H. Beeckman, "Dendrochronological Potential in a Semi-Deciduous Rainforest: The Case of *Pericopsis elata* in Central Africa". *Forests* 5, 3087–3106, 2014.
- [16] W. Köppen, *Das geographische system der klimate*. Handbuch der klimatologie, Borntraeger science publishers, Berlin, 44 p, 1936. [Online] Disponible : [http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen\\_1936.pdf](http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1936.pdf)
- [17] F. Boyemba, *Ecologie de Pericopsis elata (Harms) Van Meeuwen (Fabaceae), arbre de forêt tropicale africaine à répartition aggrégée*, Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique, 181 p, 2011.
- [18] J.M. Kahindo, *Potentiel en produits forestiers autres que le bois d'œuvre dans les formations forestières de la région de Kisangani. Cas des rotins Eremospatha haullevilleana De Wild et Lacosperma secundiflorum (P. Beauv.) Kuntze de la Réserve forestière de Yoko (Province Orientale, RDC)*. Thèse de doctorat, Université de Kisangani, Département d'Ecologie et gestion des ressources végétales, Kisangani, RDC, 269 p, 2011.
- [19] C. Ouinsavi and N. Sokpon, "Morphological Variation and Ecological Structure of Iroko (*Milicia excelsa* Welw. C.C. Berg) Populations across different diogeographical zones in Benin", *International Journal of Forestry Research*, vol. 2010, pp. 1–10, 2010.
- [20] K. Daïnou, J.L. Doucet, Sinsin B., G. Mahy, "Identité et écologie des espèces forestières commerciales d'Afrique centrale : le cas de *Milicia* spp. ( synthèse bibliographique )", *Base*, vol.3, no. 16, pp. 229–241, 2012.
- [21] A. Fayolle, D.-Y. Ouédraogo, G. Ligot, K. Daïnou, N. Bourland, P. Tekam P., J.-L. Doucet, "Differential performance between two timber species in forest logging gaps and in plantations in Central Africa", *Forests*, vol. 2015, no. 6, 380-394, 2015.
- [22] C. De Wasseige, J. Flynn, D. Louppe, F. Hiol Hiol, P. Mayaux, *Les forêts du Bassin du Congo. État des Forêts 2013*. Weyrich, Belgique, 328 p, 2013.
- [23] WRI, *Atlas forestier interactif de la République Démocratique du Congo*. World Ressources Institute: Document de synthèse. Washington, 56 p, 2009. [Online] Disponible: <http://www.wri.org/forests>
- [24] M. Abensperg-Traun, *CITES, sustainable use of wild species and incentive-driven conservation in developing countries, with an emphasis on Southern Africa*. *Biol. Conserv.*, 142:948-963, 2009.
- [25] DIAF/MECNT, *Liste des essences forestières de la République Démocratique du Congo*. Guide opérationnel. Kinshasa, RDC, DIAF, 52p, 2009.
- [26] P. Dagnelie, *Analyses statistiques à plusieurs valeurs variables*, Gembloux, Presses agronomiques de Gembloux, 362 p, 1975.
- [27] Faraway J.J.. 2002. *Practical regression and Anova using R*. [Online] Disponible: <http://www.stat.lsa.umich.edu/~faraway/book>.
- [28] R Development Core Team, *R: A language and environment for statistical computing*. Vienne, Autriche, R Foundation for Statistical Computing, 2003.
- [29] N. Bourlands, YL. Kouadio, F. Fétéké, P. Lejeune, J.-L. Doucet, "Ecology and management of *Pericopsis elata* (Harms) Meeuwen (Fabaceae) populations : a review". *Base*, vol.4, no. 16, pp. 486–498, 2012.
- [30] P. Detienne, *Nature et périodicité des cernes dans le bois d'iroko*. Nogent-sur-Marne, France, Centre Technique Forestier Tropical, 27 p, 1976.
- [31] M. Worbes, "One hundred years of tree-ring research in the tropics- a brief history and outlook to future challenges", *Dendrochronologia*, no. 20, pp. 217-231, 2002.
- [32] P. Détienne, F. Oyono, L. Durrieu de Madron, B. Demarquez, R. Nasi, *L'analyse de cernes : applications aux études de croissance de quelques essences en peuplements naturels de forêt dense africaine*, Montpellier, France, Cirad, série Forafi, n°15. CD-Rom, 1998.
- [33] L. Durrieu de Madron, R. Nasi, P. Détienne, "Accroissements diamétriques de quelques essences en forêt dense africaine", *Bois et Forêts des Tropiques*, vol.1., no. 263, pp. 63–74, 2000.
- [34] L. Durrieu de Madron, "Accroissement diamétrique du bété et de l'iroko", *Bois et Forêts des Tropiques*, 275: 83–87.
- [35] A. Nzogang, *Tropical forest dynamics after logging-natural regeneration and growth of commercial tree species in southeast Cameroon*, Thèse de doctorat, Forest and Environmental sciences, Albert-Ludwigs University, Freiburg im Breisgau, Germany, pp. 107-200, 2009.

## ANNEXES

**ANNEXE 1. INFORMATIONS DENDROMÉTRIQUES DES ARBRES ÉCHANTILLONNÉS POUR CETTE ÉTUDE. LE DIAMÈTRE À HAUTEUR DE POITRINE (DHP, EN CM), LE DIAMÈTRE INTÉRIEUR SOUS L'ÉCORCE ISSU DE LA CUMULATION DES LARGEURS DE CERNES (D<sub>IC</sub>, EN MM), LE FACTEUR DE CORRECTION (FC, NOMBRE), LE DIAMÈTRE INTÉRIEUR RÉEL SOUS L'ÉCORCE MESURÉ AU RUBAN (D<sub>IR</sub>, EN MM) SONT DONNÉES POUR CHAQUE ARBRE**

| Espèce                        | Code_ID | Echantillon | DHP   | D <sub>IC</sub> | D <sub>IR</sub> | FC    |
|-------------------------------|---------|-------------|-------|-----------------|-----------------|-------|
| Iroko<br><i>M. excelsa</i>    | CI001   | iroko1      | 103,9 | 1008            | 982             | 1,026 |
|                               | CI003   | iroko2      | 86,5  | 917,09          | 832             | 1,102 |
|                               | CI005   | iroko3      | 97,5  | 1181            | 939             | 1,258 |
|                               | CI006   | iroko4      | 103,5 | 944,4           | 817             | 1,156 |
|                               | CI007   | iroko5      | 85,4  | 663,5           | 794             | 0,836 |
|                               | CI009   | iroko6      | 88    | 780,5           | 860             | 0,908 |
|                               | CI010   | iroko7      | 98    | 1227            | 921             | 1,332 |
|                               | CI013   | iroko8      | 74,5  | 690,61          | 702             | 0,984 |
|                               | CI014   | iroko9      | 82,4  | 1047            | 838             | 1,249 |
|                               | CI016   | iroko10     | 81,2  | 792,5           | 825             | 0,961 |
|                               | CI017   | iroko11     | 79,4  | 592,2           | 819             | 0,723 |
| Afrormosia<br><i>P. elata</i> | CI004   | afro1       | 86,2  | 818,34          | 875             | 0,935 |
|                               | CI008   | afro2       | 89,8  | 942             | 881             | 1,069 |
|                               | CI011   | afro3       | 95,5  | 878,74          | 987             | 0,890 |
|                               | CI015   | afro4       | 91,5  | 879             | 836             | 1,051 |
|                               | CI018   | afro5       | 70    | 559,72          | 680             | 0,823 |

**ANNEXE 2- ACCROISSEMENTS ANNUELS MOYENS (AAM, EN MM/AN) PAR ESPÈCE ET PAR CLASSE DE DIAMÈTRE (INTERVALLE DE 10 CMM). Nf CORRESPOND À LA FRÉQUENCE DES VALEURS UTILISÉS DANS LE CALCUL DES MOYENNES**

| Classe | Iroko- <i>M. excelsa</i> |           | Afrormosia- <i>P. elata</i> |           |
|--------|--------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|
|        | Nf                       | AAM±Ec    | Nf                          | AAM±Ec    |
| 1      | 155                      | 5,77±3,4  | 93                          | 4,12±1,71 |
| 2      | 150                      | 7,20±4,00 | 108                         | 4,59±1,79 |
| 3      | 155                      | 7,05±4,70 | 90                          | 5,35±1,73 |
| 4      | 135                      | 8,15±3,76 | 95                          | 5,32±1,91 |
| 5      | 147                      | 7,33±4,20 | 115                         | 4,39±1,71 |
| 6      | 142                      | 7,95±3,83 | 111                         | 4,45±1,62 |
| 7      | 174                      | 6,35±3,35 | 103                         | 4,69±1,52 |
| 8      | 192                      | 5,18±2,53 | 88                          | 4,53±1,28 |
| 9      | 98                       | 5,32±2,56 | 63                          | 4,74±1,73 |
| 10     | 29                       | 5,36±2,15 | 22                          | 4,02±1,48 |

