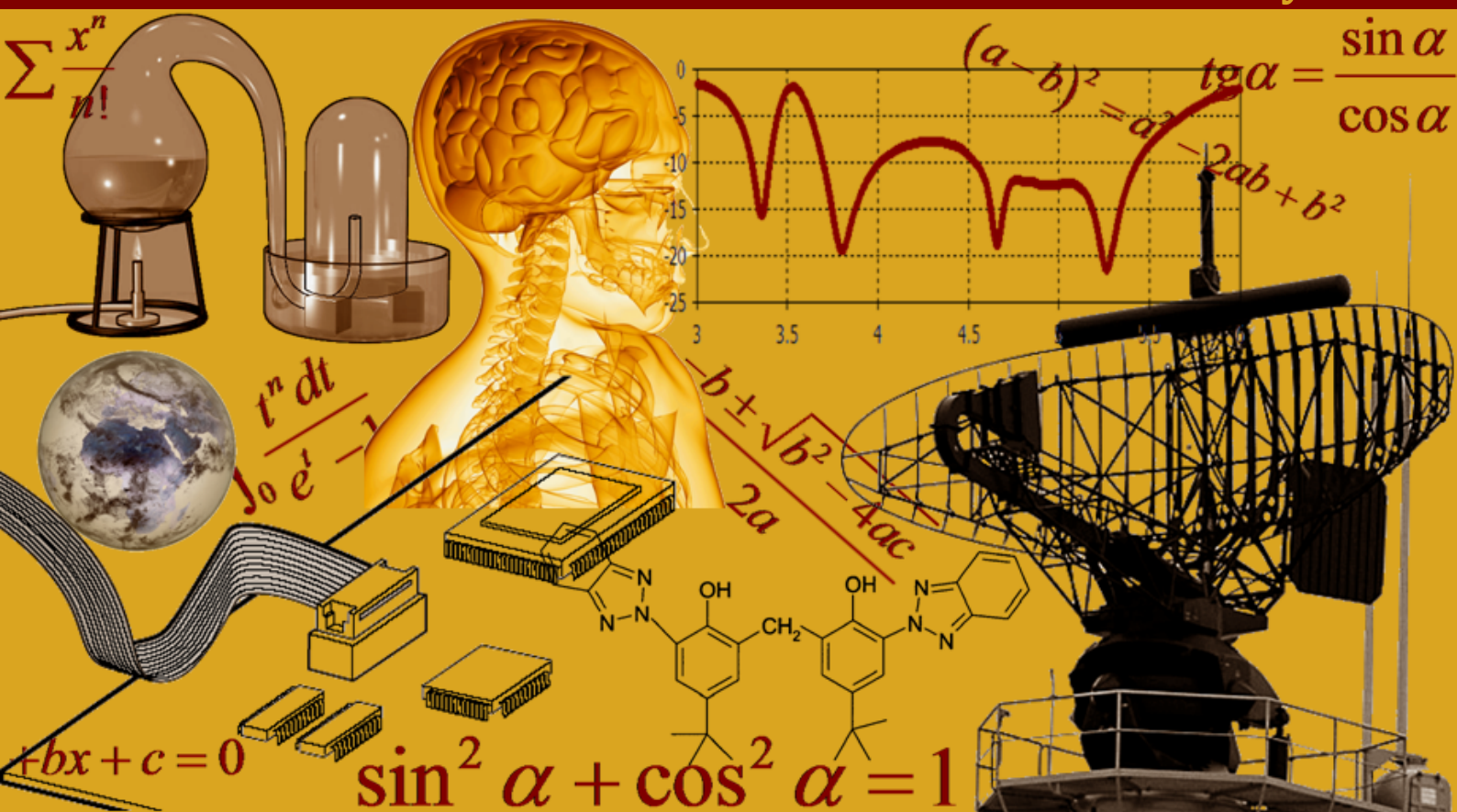


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

Vol. 65 N. 1 February 2023



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Scientific Research

International Journal of Innovation and Scientific Research (ISSN: 2351-8014) is an open access, specialized, peer-reviewed, and interdisciplinary journal that focuses on research, development and application within the fields of innovation, engineering, science and technology. Published four times per year in English, French, Spanish and Arabic, it tries to give its contribution for enhancement of research studies.

All research articles, review articles, short communications and technical notes are sent for blind peer review, with a very fast and without delay review procedure (within approximately two weeks of submission) thanks to the joint efforts of Editorial Board and Advisory Board. The acceptance rate of the journal is 75%.

Contributions must be original, not previously or simultaneously published elsewhere. Accepted papers are available freely with online full-text content upon receiving the final versions, and will be indexed at major academic databases.

Editorial Advisory Board

K. Messaoudi, Hochschule für Bankwirtschaft, Germany
Sundar Balasubramanian, Medical University of South Carolina, USA
Ujwal Patil, University of New Orleans, USA
Avdhoot Walunj, National Institute of Technology Karnataka, India
Rehan Jamil, Yunnan Normal University, China
Sankaranarayanan Seetharaman, National University of Singapore, Singapore
Fairouz Benahmed, University of Connecticut Health Center, USA
Achmad Choerudin, ST.,SE.,MM., Academy Technology of Adhi Unggul Bhirawa, Indonesia
Mohammad Ali Shariati, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Iran
Md Ramim Tanver Rahman, Jiangnan University, China
Rasha Khalil Al-Saad, Veterinary Medicine College, Iraq
Neil L. Egloso, Palompon Institute of Technology, Philippines
Sanjay Sharma, Roorkee Engineering & Management Technology Institute, India
Ahmed Nabile Emam, National Research Center (NRC), Egypt
Md. Arif Hossain Jewel, Rural Development Academy, Bangladesh
N. Thangadurai, Jayalakshmi Institute of Technology, India
Urmila Shrawankar, G H Rasoni College of Engineering, India
Goutam Banerjee, Visva-Bharati University, India
Santosh Kumar Mishra, S. N. D. T. Women's University, India
Anupam Kumar, Ashoka Institute of Technology & Management, India

Table of Contents

Développement et optimisation des performances d'un broyeur-mélangeur pour utilisation dans les zones rurales	1-14
<i><u>Henri Grisseur Djoukeng, Brice Martial KAMDEM, Julius Kewir Tangka, and Boris Merlain DJOUSSE KANOUE</u></i>	
Contribution à la connaissance des transferts hydriques entre les nappes du Quaternaire et de l'Oxfordien supérieur (calcaire) de la partie sud du Marais Poitevin (Poitou-Charentes, France)	15-29
<i><u>Braphond Rodrigue Vincent Benjamin Anongba, Djémin Jacques Édoukou, Privat TOHOURI, and Adja Miessan Germain</u></i>	
Palmeraie de l'Aïr: Diversité, Structure et Régénération de peuplement naturel	30-47
<i><u>Ado Ali, Adamou Hamadou Wankoye, Zakariawa Kanda Raila, INOUSSA Maman Maârouhi, MAHAMANE Ali, and Mahamane Saâdou</u></i>	
Etude des paragenèses minérales des roches vertes de la vallée de M'vunzi du Territoire de Seke-Banza (Province du Kongo Central, RD Congo)	48-60
<i><u>Patrick Mukonkole Mukonkole, Daddy Patrick Ilito Lofongo, Henock Tshombe Mbaya, Nebys Mupepe Ngavipa, Joël-André Opey Ambur, Olga Mukaka Kimwesa, and Anne-Marie Tshibwabwa Tshiswaka</u></i>	
Lithostratigraphie des faciès kimberlitiques du massif I de la minière de Bakwanga (Mbuji-Mayi, Kasai-Oriental, RDC)	61-69
<i><u>Télesphore Mayiba, Albert KALAU, Crispin Musambayi, Divin Tshimanga, Elie TSHINGULLI, Mersa KABANGU, Seth NTUMBA, and Aimé Tshibanda</u></i>	
Analyse structurale des formations carbonatées d'âges protérozoïque dans le secteur de Mpumbu au Sud-Ouest de Mbuji-Mayi (Kasai-Oriental, RD Congo)	70-81
<i><u>Crispin Musambayi, Télesphore Mayiba, Albert KALAU, Divin Tshimanga, Elie TSHINGULLI, Maclin Kabemba, Seth NTUMBA, Mersa KABANGU, and Sabhat Munyemba</u></i>	
Étude des occurrences kimberlitiques de Kabimba par approche géophysique (aeromagnetisme et gravimétrie)	82-97
<i><u>Hippolyte MUTOMBO, Télesphore Mayiba, and Crispin Musambayi</u></i>	
Rôle des Femmes dans les actions de récupération des terres et de gestion des sites restaurés au niveau de la Commune rurale de Simiri (Région de Tillabéry, Niger)	98-108
<i><u>Alhassoumi Hadizatou, Adamou Halidou, and Drame Yaye Aissetou</u></i>	
Accurate evaluation of Land Use Land Cover (LULC) Dynamics in the Southern part of Mali, West Africa	109-117
<i><u>Oumou Diancoumba, Adama Touré, Ibrahima Daou, Seriba Konaré, and Hamadoun Bokar</u></i>	
Contribution à l'analyse de la variance (ANOVA) et à l'analyse en composante principale (ACP) pour l'évaluation de quelques caractéristiques de la qualité analytique de Lotoko, boisson traditionnelle distillée produite à Kinshasa	118-128
<i><u>Tabu Wa Bomesi Ernest, Sifa Kwa Mungu Daniel, and Vawazola Nsimaketo Victor Héritierr</u></i>	

Développement et optimisation des performances d'un broyeur-mélangeur pour utilisation dans les zones rurales

[Development and performance optimization of a grinder-mixer for use in rural areas]

Henri Grisseur DJOUKENG, Brice Martial KAMDEM, Julius Kewir TANGKA, and Boris Merlain DJOUSSE KANOOU

Department of Rural Engineering, University of Dschang, Faculty of Agronomy and Agricultural Sciences, Dschang,
Western region, Cameroon

Copyright © 2023 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 the design, implementation and evaluation of performance tests of a motorized feed grinder-mixer made from local materials. The dynamic and dimensional study made, allowed the realization of a prototype of 350 liters in capacity. To assess the uniformity rate of the machine, three types of feed were used, namely: (1) starter, (2) chicken and (3) layer. In addition to food, the coefficient of variability between samples after chemical analysis was obtained for each chosen mixing time. The determination of the different optimal rational models of the homogeneity rate was made with Matlab R2017a to determine the minimum mixing time. The results of this study show that the machine developed allows the homogeneous mixing of 427 kg of feed per hour with a maximum energy consumption of 0.72 Wh/kg. The feed variability coefficient is less than 10% in 12 minutes of mixing, resulting in better homogeneity rates. The specific energy consumption is around 59%. This machine has low environmental pollution (little noise and dust), guaranteed ergonomics and stability; also, maintenance is easy. The estimated cost of developing the prototype is around 381,300 FCFA, or 568,00 USD; this machine is therefore accessible to average breeders. The results of this study also show that, compared to what exists on the Cameroonian market, this machine has several advantages for improving farming techniques and the living conditions of the populations.

KEYWORDS: salt concentration, coefficient of variability, homogeneity rate, hourly capacity, energy consumption, animal feed.

RESUME: Cet article présente la conception, la réalisation et l'évaluation des tests de performance d'un broyeur-mélangeur motorisé de provenance conçu à base de matériaux locaux. L'étude dynamique et dimensionnelle faite a permis la réalisation d'un prototype de 350 litres en contenance. Pour évaluer le taux d'homogénéité de la machine, trois types d'aliments ont été utilisés, à savoir: (1) démarrage (2) poulet et (3) pondeuse. En plus des aliments, le coefficient de variabilité entre les échantillons après analyse chimique a été obtenu pour chaque temps de mélange choisi. La détermination des différents modèles rationnels optimaux du taux d'homogénéité a été faite avec Matlab R2017a pour déterminer le temps minimal de mélange. Les résultats de cette étude montrent que la machine développée permet le mélange, de manière homogène, de 427 kg d'aliment par heure avec une consommation d'énergie maximale de 0,72 Wh/kg. Le coefficient de variabilité de l'aliment est inférieur à 10 % en 12 minutes de mélange, d'où de meilleurs taux d'homogénéité. La consommation spécifique d'énergie est de l'ordre de 59 %. Cette machine présente une faible pollution environnementale (peu de bruit et de poussières), une ergonomie et une stabilité assurées; aussi, la maintenance est aisée. Le coût estimatif de développement du prototype est d'environ 381300 FCFA, soit 568 USD; cette machine est donc accessible aux éleveurs moyens. Les résultats de cette étude montrent également que, comparativement à ce qui existe sur le marché camerounais, cette machine présente plusieurs avantages pour améliorer les techniques d'élevage et les conditions de vie des populations.

MOTS-CLEFS: coefficient de variabilité, taux d'homogénéité, capacité horaire, consommation énergétique, alimentation animale.

1 INTRODUCTION

Le développement technologique depuis la révolution industrielle, a poussé l'homme à s'intéresser aux méthodes et techniques pouvant participer à son développement économique. Depuis la fin des années 80, un problème commun à de nombreux pays africains Sub-sahariens est l'extrême pauvreté [1]. Sur les 736 millions de personnes touchées par ce fléau, recensées en 2013, quelques 389 millions vivent en Afrique subsaharienne [2]. Au Cameroun, la proportion de la population vivant en dessous du seuil de pauvreté (1,25 dollar par jour) est passée de 40,2 % en 2001 à 37,5 % en 2014 [3]. Investir dans le domaine de l'élevage est une contribution considérable dans la lutte contre la pauvreté dans les pays en voie de développement [4]. Cependant, l'enjeu majeur est de pouvoir assurer le bon développement et le bien-être des animaux. De ce fait, il est impératif d'assurer aux animaux une alimentation équilibrée, suffisante et ordonnée.

Après la formulation des provendes, on a constaté que les éleveurs ne sont toujours pas satisfaits de la productivité de leurs animaux due au faible taux d'homogénéité des ingrédients alimentaires entraînant l'intoxication et la mauvaise digestion chez l'animal [5]. Vu que la bonne alimentation du bétail est le principal facteur de l'accroissement de la productivité en élevage, il serait judicieux de participer au boom économique dans ce secteur d'activité en veillant à l'amélioration du taux d'homogénéité des différents éléments entrant dans la formulation des provendes.

Le mélange des aliments animaliers s'effectue à l'aide de machines mécaniques ou électromécaniques parmi lesquelles les broyeurs-mélangeurs contribuant à l'augmentation de la productivité du secteur de l'élevage [6]. Plusieurs auteurs ont récemment travaillé sur la conception et la réalisation des mélangeurs industriels pouvant être utiles pour des tests expérimentaux de mélange; ou encore sur des mélangeurs simples, efficaces et robustes ayant des performances allant jusqu'à 95,31 % en 20 minutes de fonctionnement [7], [8]. Dans la même lancée, Makange et al. [9] ont conçu un mélangeur horizontal manuel et efficace utilisé pour mélanger les aliments pour bovins. Presque toutes ces machines développées ne sont pas accessibles aux petits éleveurs des pays en développement, y compris le Cameroun. Dans le but d'améliorer les conditions de vie des éleveurs en milieu rural, les techniques d'élevage et l'accroissement économique des pays en voie de développement, on s'est proposé de: (i) concevoir un broyeur-mélangeur (ii) fabriquer un broyeur-mélangeur et (iii) tester et évaluer les performances de la machine fabriquée.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 CONCEPTION DU PROTOTYPE

Un mélangeur vertical motorisé d'aliments associé à un broyeur de maïs a été conçu et fabriqué avec des matériaux locaux et d'autres matériaux disponibles et bon marché.

ANALYSE FONCTIONNELLE INTERNE DU BROYEUR-MÉLANGEUR

Suivant la norme NFX50 – 153, l'analyse fonctionnelle interne d'un produit dégage chaque fonction technique permettant d'assurer les fonctions de service et permet la matérialisation des concepts de solutions techniques. C'est le point de vue du concepteur. L'analyse fonctionnelle consiste à rechercher les fonctions techniques, les solutions optimales et les composants qui doivent satisfaire une fonction de service [10].

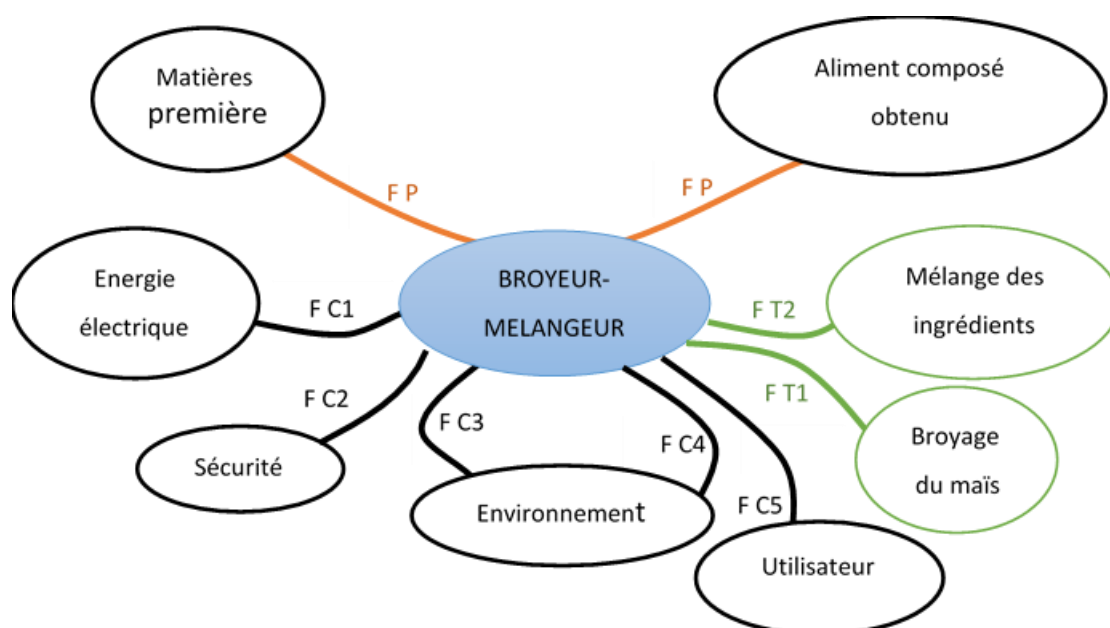


Fig. 1. Diagramme d'interaction du broyeur-mélangeur

FP = Fonction Principale; FT = Fonction Technique; FC = Fonction Complémentaire

La Figure 1 montre le diagramme d'interaction du broyeur-mélangeur de provende a été schématisé.

D'après le Tableau 1, on peut comprendre la formulation des fonctions de services avec leurs expressions.

Tableau 1. Formulation des fonctions de service

Fonctions de service	Expressions
F P	Obtenir un aliment composé homogène (provende)
F T1	Broyer le maïs
F T2	Mélanger le maïs broyé et les éléments d'addition
F C1	S'adapter à l'énergie électrique du secteur
F C2	Sécurité
F C3	Protéger l'environnement
F C4	Résister aux attaques de l'environnement
F C5	Satisfaire l'utilisateur (Coût minimal et bonne présentation visuelle)

SCHÉMA CINÉMATIQUE DU PROTOTYPE

Compte tenu des exigences générales d'une conception efficace [11], le prototype à concevoir est représenté par son schéma cinématique (Figure 2). Le dispositif est approvisionné en maïs au niveau de la trémie du broyeur où il est broyé par l'intermédiaire des marteaux. Ensuite, il est conduit vers le mélangeur vertical par intermédiaire du tamis de calibrage et du convoyeur. Le mélangeur approvisionné en aliment composé au niveau de la trémie qui avec le maïs préalablement broyé est mélangé à l'aide des hélices soudées sur l'arbre. La qualité visuelle du mélange est contrôlée grâce au voyant. Lorsque la qualité requise est atteinte, le produit mélangé est recueilli à travers l'orifice supérieur et inférieur.

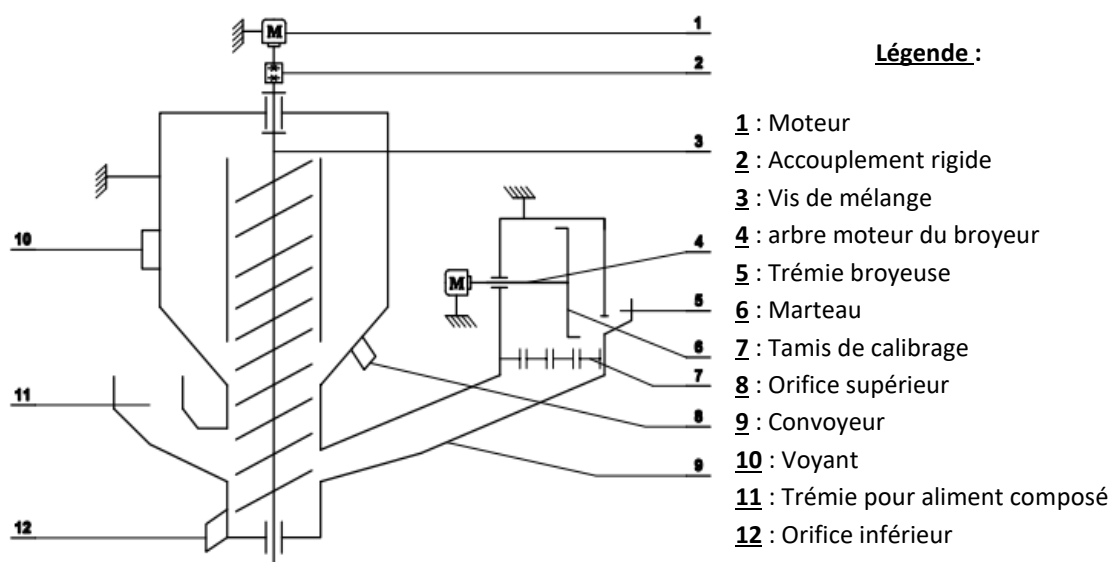


Fig. 2. Schéma cinématique du prototype

La Figure 2 montre le schéma cinématique du prototype.

DIMENSIONNEMENT DU BROYEUR

L'étude cinématique permettra de déterminer la vitesse de rotation du marteau. Pour une bonne qualité de broyage, la vitesse de rotation du broyeur sera obtenue dans le catalogue de vitesse en construction mécanique. Quant à l'étude dynamique, la loi de broyage est fondée sur le concept que la vitesse de production des fines particules varie de façon linéaire avec le temps dans les procédés de broyage. Elle stipule que, le taux de production des particules plus petites qu'une taille donnée est approximativement constante pour un temps prolongé de broyage.

L'effort théorique de broyage est calculé en utilisant l'équation suivante:

$$F_{th} = \frac{m \cdot g \cdot h}{e} \quad (1)$$

Avec:

F_{th} = effort théorique de broyage (N)

m = masse marquée (g)

g = intensité de la pesanteur ($N \cdot kg^{-1}$)

h = hauteur obtenue expérimentalement (mm)

e = épaisseur moyenne d'un grain de maïs (mm)

L'effort de broyage est calculé en utilisant l'équation suivante:

$$F = F_{th} \cdot s \quad (2)$$

Avec:

F = effort de broyage (N)

s = facteur de service = 1,1

Le couple résistant du broyeur sera déterminé par l'équation suivante:

$$C_r = F \cdot \frac{1000 \cdot d}{2} \quad (3)$$

Avec:

C_r = couple résistant du broyeur (N.m)

d = diamètre du marteau (mm)

D'après les travaux de Budynas et Nisbett [12], la puissance utile du broyage a été déterminée par l'équation suivante:

$$P_u = C_r \cdot 2\pi \cdot \frac{N}{60} \quad (4)$$

Avec:

P_u = puissance utile pour le broyage (W)

C_r = vitesse de rotation du marteau (tr.min⁻¹)

La puissance corrigée du broyeur exprimé par Fanchon [13], sera obtenue dépendamment du fonctionnement journalier du broyeur. Elle est calculée en utilisant l'équation suivante:

$$P_c = P_u \cdot k_s \quad (5)$$

Avec:

P_c = puissance utile pour le broyage (W)

k_s = coefficient de service = 1,2 [14]

DIMENSIONNEMENT DU MÉLANGEUR

La chambre de mélange est constituée de deux cylindres inégaux (cylindres supérieur et inférieur) reliés par un tronc. Le volume total de cette chambre est calculé en utilisant la relation de Garlick et Barnes [15] suivante:

$$V_T = V_F + V_U + V_L \quad (6)$$

Avec:

V_T = volume total de la chambre de mélange (m³)

V_F = volume du tronc (m³)

V_U = volume du cylindre supérieur (m³)

V_L = volume du cylindre inférieur (m³)

L'étude cinématique permet de déterminer la vitesse de rotation du mélangeur; elle sera obtenue dans le catalogue de vitesse rotation en construction mécanique [14]. En ce qui concerne l'étude dynamique, le malaxeur dispose d'une vis de mélange (vis à hélice) verticale; celle-ci fonctionne à l'intérieur d'un tube étroit ajusté proche de l'effet de mélange des composants de l'aliment. En considérant que cette vis à hélice possède des hélices non uniformes, la masse de produit déplacée par un filet de l'hélice s'obtient par l'équation suivante:

$$m = \gamma \cdot S \cdot H \quad (7)$$

Avec:

m = masse du produit déplacé (kg)

γ = poids spécifique des aliments (kg.m⁻³)

H = hauteur de malaxage (m)

S = Section de travail de l'hélice (m²)

Considérant le bon fonctionnement et la régularité du couple transmis, la force de mélange corrigée est obtenue en utilisant l'équation suivante:

$$F_c = m \cdot g \cdot s \quad (8)$$

Avec:

F_c = force corrigée (N)

g = intensité de la pesanteur ($N.kg^{-1}$)

s = facteur de service = 1

La capacité du mélangeur est obtenue par l'équation de Khurmi et Gupta [16] suivante:

$$Q = 60N \cdot \phi \cdot p \cdot \gamma \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \quad (9)$$

Avec:

Q = capacité du mélangeur ($tr.h^{-1}$)

N = vitesse de rotation de la vis de mélange ($tr.min^{-1}$)

ϕ = facteur de sécurité = 0,33

p = pas de l'hélice (m)

D = diamètre nominal de l'hélice (m)

d = diamètre nominal de l'arbre (m)

La puissance corrigée du mélangeur, telle qu'exprimée par Fanchon [14], est obtenue dépendamment du fonctionnement journalier du mélangeur. Elle est calculée en utilisant l'équation suivante:

$$P_c = F \cdot \frac{D}{2} \cdot 2\pi \cdot \frac{N}{60} \cdot k_s \quad (10)$$

Avec:

P_c = puissance corrigée du mélangeur (W)

k_s = facteur de service

La puissance requise pour faire fonctionner le système dépendamment de la capacité de mélange se calcule à l'aide de l'équation suivante:

$$P = 0,7355 \cdot Q \cdot l_v \cdot C \quad (11)$$

Avec:

P = puissance (W)

l_v = longueur de la vis à hélice (m)

C = coefficient du matériau = 0,3

Q = capacité du mélangeur ($tr.h^{-1}$)

L'arbre du mélangeur étant soumis à une sollicitation composée (flexion simple et torsion) et des charges réparties, l'équation de Mohr-Cacquot a été utilisée pour déterminer le diamètre minimal de l'arbre, lequel a été exprimé par l'équation de Fanchon [13] suivante:

$$d_m = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi \sigma_1} \left[\left(1 - \frac{1}{2\lambda}\right) Mf_{\max} K_m + \frac{1}{2\lambda} [(Mf_{\max} K_m)^2 + (TK_t)^2]^{\frac{1}{2}} \right]} \quad (12)$$

Avec:

d_m = diamètre minimal de l'arbre (mm)

K_m = facteur du choc combiné pour la flexion [16]

K_t = facteur de fatigue pour la torsion [16]

T = moment de torsion maximal (N.mm)

σ_1 = contrainte normale idéale (en $N.mm^{-2}$)

λ = constante dépendant du matériau de l'arbre

$Mf_{\max}$ = moment fléchissant maximal (N.m)

La chambre de mélange est constituée de deux cylindres inégaux (cylindres supérieur et inférieur) reliés par un tronc. Le volume total de cette chambre est calculé en utilisant la relation de par Garlick et Barnes [15] suivante:

$$V_T = \frac{LD_{d1}^2}{4\pi} H_d + \frac{LD_{D1}^2}{4\pi} H_D + \frac{\pi h}{3} \left[\frac{LD_{d1}^2}{4\pi} + \frac{LD_{D1}^2}{4\pi} + \sqrt{\frac{LD_{d1}^2 \times LD_{D1}^2}{4\pi^2}} \right] \quad (13)$$

Avec:

LD_{d1} = longueur développée du cylindre inférieur (mm)

LD_{D1} = longueur développée du cylindre supérieur (mm)

H_D = hauteur du cylindre supérieur (mm)

H_d = hauteur du cylindre inférieur (mm)

h = hauteur expérimentale (mm)

V_T = volume total de la chambre (m^3)

D'après le Tableau 2, on a les caractéristiques techniques du broyeur-mélangeur obtenues lors de l'étude dynamique et dimensionnelle du broyeur-mélangeur.

Tableau 2. *Caractéristiques techniques du broyeur-mélangeur*

Éléments	Hypothèses de calcul		Paramètres calculés	
	Paramètres	Valeurs sélectionnées	Paramètres	Valeurs calculées
Broyeur	m	500 g	F	137,5 N
	g	10 N.kg ⁻¹	P _c	1,55 kW
	h	150 mm		
	e	6 mm		
	d	240 mm		
	N	750 tr.min ⁻¹		
Mélangeur	γ	400 kg.m ⁻³	m	33,03 kg
	H	1250 mm	P _c	1,5 kW
	D	290 mm	Mf _{max}	2595,39 N.m
	N	250 tr.min ⁻¹	d _{min}	12,36 mm
	k _s	1,2		
	Mf _x	168,03		
	Mf _z	2589,95		
	λ	0,5		
	σ	28 MPa		
	T	47,89		
	Kt	1,5		
	Km	2		

D'après le tableau 3, on a les dimensions de la chambre de mélanges.

Tableau 3. *Dimensions de la chambre de mélange*

Hypothèses de calcul		Paramètres calculés	
Paramètres	Valeurs sélectionnées	Paramètres	Valeurs calculées
L _{D1}	2000 mm	VT	392 litres
L _{d1}	942,48 mm		
h	300 mm		
H _d	300 mm		
H _D	1000 mm		

2.2 FABRICATION DU PROTOTYPE

Les matériels pour la fabrication de la machine ont été choisis sur la base de leurs disponibilité, pertinence, considération économique et viabilité en service. La découpe, le façonnage et l'assemblage des composants ont été effectués par différents matériels tels: une rouleuse à trois rouleaux de type pyramidal, une cisaille guillotine, une presse plieuse, une tour parallèle, une meuleuse, un poste à souder, des disques et des électrodes rutilles.

Une tôle de 15/10^e a été utilisée pour la réalisation la grande virole et du cylindre interne, de dimensions 2000 mm x 1000 mm et 942 mm x 1000 mm respectivement. Le flanc capable de dimension 1300 mm x 640 mm a été utilisé pour la réalisation du tronc de cône. Une vis de mélange de 8 hélices avec un pas de 175 mm, d'alésage 320 mm et de chariotage 73 mm a été réalisée pour assurer le transport des ingrédients (aliments) des orifices d'entrée des trémies vers la chambre dédiée au mélange.

2.3 ÉVALUATION DES PERFORMANCES DU PROTOTYPE

Pour évaluer les performances du broyeur-mélangeur, trois types d'aliments pour volailles et trois tailles différentes de tamis (diamètres 1, 3 et 5 mm) ont été utilisés. Les périodes de mélange testées en fonction de la taille du grain de maïs broyé (1, 3 et 5 mm) étaient de 1, 3, 6, 9, 12, 15, 18 et 21 minutes. À la fin de chaque temps de mélange, dix échantillons ont été recueillis à partir de l'orifice supérieur et inférieur de la décharge et testés en trois répétitions. Pour déterminer l'homogénéité du mélange, l'écart-type et le coefficient de variabilité (CV) des concentrations de sel dans l'échantillon ont été calculés suivant la méthode de Ibrahim et Fasasi [17].

D'après le tableau 4, on a la composition de trois types d'aliments pour volaille utilisés pour l'évaluation de ce broyeur-mélangeur [18].

Tableau 4. Composition de trois types d'aliments pour volaille

Ingrédients	Taux par aliment (%)		
	Démarrage	Chair	Pondeuse
Maïs	60	55	55
Son de blé	-	15	10
Tourteau de soja	25	5	7
Tourteau de coton	3	8	8
Tourteau de palmiste	-	5	5
Concentré	5	5	5
Farine d'os/coquille	4	4	7
Minéraux et vitamines	2	2	2
Sel	1	1	1

Le coefficient de variabilité et l'écart-type ont été calculés en utilisant le système d'équations suivant:

$$\begin{cases} CV = \frac{s}{\bar{y}} \times 100 \\ S = \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{(N-1)}} \end{cases} \quad (14)$$

Avec:

CV = coefficient de variabilité (%)

S = l'écart-type

$\bar{y}$ = moyenne

N = nombre d'échantillons

y = échantillon (g)

Le taux d'homogénéité du prototype est obtenu mathématiquement en utilisant l'équation suivante:

$$TH = 1 - CV \quad (15)$$

Avec:

TH = taux d'homogénéité (%)

Un chronomètre a permis de relever le temps de fonctionnement du broyeur-mélangeur. La capacité horaire du système est obtenue à l'aide de l'équation suivante:

$$C_h = \frac{M}{t} \quad (16)$$

Avec:

C_h = capacité horaire (kg.h⁻¹)

M = quantité d'aliment produit (kg)

t = temps moyen de mélange/broyage (h)

Grâce aux courbes des modèles optimaux du taux d'homogénéité, le temps optimal de mélange de chaque type d'aliment a été obtenu. La consommation spécifique en énergie du système a été évaluée en utilisant l'équation suivante:

$$CSE = \frac{P.t}{M} \quad (17)$$

Avec:

CSE = consommation spécifique d'énergie (kWh.kg⁻¹)

P = puissance du broyeur/mélangeur (kW)

t = temps moyen de mélange/broyage (h)

M = quantité d'aliment produit (kg)

2.4 ANALYSE DES DONNÉES

Excel 2017 a été utilisé pour les tests des caractéristiques de la machine conçue et fabriquée. Les données des aliments ont été analysées en utilisant la régression polynomiale optimale d'ordre 3 du coefficient de variation avec le logiciel MATLAB version R2017.

3 RÉSULTATS

3.1 BROEUR-MÉLANGEUR CONÇU ET RÉALISÉ

DIMENSIONS DU BROEUR

Des hypothèses de calculs ont été formulées et les paramètres calculés pour mettre sur pied la partie broyage. D'après le tableau 5, on a les caractéristiques techniques du broyeur.

Tableau 5. Caractéristiques techniques du broyeur

Hypothèses de calcul		Paramètres calculés	
Paramètres	Valeurs sélectionnées	Paramètres	Valeurs calculées
m	500 g	F _{th}	125 N
g	10 N.kg ⁻¹	F	137,5 N
h	150 mm	C _r	16,5 N.m
e	6 mm	P _u	0.25 kW
d	240 mm	P _c	0.34 kW
N	750 tr.min ⁻¹		

En utilisant le catalogue de moteur fait par Chevalier et Lecrinier (2004), pour un fonctionnement en continu de 6 à 16 heures ks=1,2 [14], on a opté pour un moteur asynchrone triphasé type EFKO 33/45; 0,37 kW; 1500 tr.min⁻¹.

DIMENSIONS DU MÉLANGEUR

Les caractéristiques techniques, la capacité et la puissance du mélangeur ont été déterminées. D'après le tableau 6, on a les caractéristiques techniques du mélangeur.

Tableau 6. Caractéristiques techniques du mélangeur

Hypothèses de calcul		Paramètres calculés	
Paramètres	Valeurs sélectionnées	Paramètres	Valeurs calculées
γ	400 kg.m ⁻³	m	33,03 kg
H	1250 mm	F	330,33 N
D	290 mm	P _c	1504,95 W
N	250 tr.min ⁻¹	β	30°

En se référant du catalogue de Chevalier et Lecrinier [19], pour une durée de fonctionnement de 6 à 16 heures $k_s=1,2$ [14], on a choisi un motoréducteur asynchrone triphasé type RFO 18/4-7; 0,18 kW; 1370 tr.min⁻¹.

D'après le tableau 7, on présente de façon numérique le moment fléchissant maximal et le diamètre minimal de la section de l'arbre à hélice du mélangeur.

Tableau 7. Caractéristiques techniques de l'arbre de mélange

Hypothèses de calcul		Paramètres calculés	
Paramètres	Valeurs sélectionnées	Paramètres	Valeurs calculées
M _{f_x}	168,03	M _{f_{max}}	2595,39 N.m
M _{f_z}	2589,95	d _{min}	12,36 mm
λ	0,5		
σ	28 MPa		
T	47,89		
K _t	1,5		
K _m	2		

D'après le tableau 8, on a la capacité de mélange et sa puissance pour faire fonctionner le système.

Tableau 8. Capacité et puissance de mélange

Hypothèses de calcul		Paramètres calculés	
Paramètres	Valeurs sélectionnées	Paramètres	Valeurs calculées
d	48 mm	Q	14842,65 tr.h ⁻¹
D	290 mm	P	4093,79 W
$\emptyset$	0,22 mm		
N	250 tr.min ⁻¹		

DIMENSIONS DE L'ARBRE À HÉLICE ET DU SILO

Les dimensions des hélices et du silo ont été calculées. D'après le tableau 9, on a les dimensions de l'hélice et du silo.

Tableau 9. Dimensions de l'hélice et du silo

Hypothèses de calcul		Paramètres calculés	
Paramètres	Valeurs sélectionnées	Paramètres	Valeurs calculées
D	290 mm	Al	320 mm
d	48 mm	Ch	73 mm
D ₁	636 mm	L _{D1}	2000 mm
d ₁	300 mm	L _{d1}	942 mm
h	300 mm	a	344,067 mm
h ₁	1000 mm	R ₂	650,41 mm
H _d	300 mm	R ₃	306,34 mm
H _D	1000 mm	b	176,27°
p	175 mm	C ₁	1300,13 mm
n _h	8	C ₂	612,35 mm
		f ₁	629,25 mm
		f ₂	296,37 mm
		L	1300,13 mm
		l	640,44 mm

Les caractéristiques normalisées des paliers et accouplements utilisés pour assurer le guidage en rotation de la vis et la transmission du mouvement de rotation du moteur ont été calculées. D'après le tableau 10, on a les éléments normalisés des paliers et accouplements à manchon.

Tableau 10. Caractéristiques normalisées des paliers et accouplement à manchon

	Éléments		
	Palier à bride	Accouplement	Volume mélangeur
Caractéristiques	UC 206 /F206FI	D = 67 mm d = 27 mm	V _F = 0,054; V _U = 0,318; V _L = 0,02; V _T = 0,392 m ³

3.2 PERFORMANCES DU BROEUR-MÉLANGEUR

Les aliments pour démarrage, chair et poulette ont été produits avec des tamis de mailles 1, 3 et 5 mm. D'après le tableau 11, le coefficient de variabilité de la concentration de sel entre les échantillons pour chaque période de mélange a été obtenu.

Tableau 11. Coefficient de variabilité entre les échantillons pour chaque période de mélange

Éléments		Période de mélange (min)							
		1	3	6	9	12	15	18	21
Tamis de maille 1 mm									
Démarrage	Moyenne	0,360	0,465	0,575	0,243	0,252	0,242	0,258	0,256
	Écart-type	0,231	0,149	0,071	0,020	0,010	0,009	0,009	0,006
	CV (%)	64,26	31,95	12,29	8,35	3,90	3,90	3,53	2,32
Chair	Moyenne	0,489	0,495	0,527	0,749	0,642	0,357	0,218	0,327
	Écart-type	0,244	0,167	0,141	0,110	0,057	0,016	0,007	0,009
	CV (%)	49,82	33,66	26,85	14,72	8,87	4,46	3,26	2,68
Pondeuse	Moyenne	0,343	0,418	0,531	0,788	0,157	0,629	0,633	0,640
	Écart-type	0,129	0,132	0,116	0,106	0,012	0,029	0,023	0,015
	CV (%)	37,85	31,76	21,97	13,50	7,738	4,638	3,665	2,240
Tamis de maille 3 mm									
Démarrage	Moyenne	0,464	0,335	0,549	0,612	0,560	0,254	0,308	0,308
	Écart-type	0,207	0,106	0,114	0,073	0,052	0,014	0,013	0,011
	CV (%)	44,56	31,54	20,84	11,97	9,31	5,56	4,22	3,48
Chair	Moyenne	0,433	0,447	0,600	0,791	0,582	0,252	0,360	0,354
	Écart-type	0,173	0,149	0,137	0,106	0,055	0,019	0,020	0,013
	CV (%)	39,93	33,31	22,79	13,45	9,49	7,66	5,53	3,52
Pondeuse	Moyenne	0,448	0,530	0,299	0,275	0,256	0,356	0,326	0,561
	Écart-type	0,215	0,197	0,056	0,037	0,021	0,019	0,012	0,014
	CV (%)	48,10	37,13	18,83	13,57	8,29	5,46	3,58	2,40
Tamis de maille 5 mm									
Démarrage	Moyenne	0,637	0,461	0,508	0,784	0,563	0,637	0,228	0,301
	Écart-type	0,267	0,177	0,115	0,111	0,070	0,040	0,014	0,012
	CV (%)	41,88	38,37	22,65	14,13	12,50	6,24	6,16	4,00
Chair	Moyenne	0,377	0,421	0,419	0,630	0,639	0,613	0,322	0,534
	Écart-type	0,122	0,114	0,056	0,045	0,037	0,033	0,015	0,012
	CV (%)	32,33	27,05	13,49	7,14	5,78	5,41	4,66	2,20
Pondeuse	Moyenne	0,520	0,536	0,265	0,435	0,159	0,256	0,204	0,556
	Écart-type	0,266	0,144	0,057	0,056	0,014	0,012	0,005	0,010
	CV (%)	51,16	26,79	21,43	12,89	8,78	4,73	2,62	1,74

En s'intéressant au modèle optimal des essais et mesures, des temps minimaux de mélange ont été obtenus selon le critère excellent ($CV < 10\%$) présenté par Herrman et Behnke [20].

D'après le tableau 12, on a le temps minimum de mélange par aliment.

Tableau 12. Temps minimum de mélange en fonction du type d'aliment

Taille de la maille (mm)	Temps minimal de mélange (mn)		
	Démarrage	Poulette	Pondeuse
1	7	12	11
3	11	12	10
5	12	8	10

La capacité horaire et la consommation d'énergie des temps minimaux de mélange ont été déterminées pour 50 kg d'aliment. D'après le tableau 13, on a la consommation énergétique et la capacité horaire pour cinq périodes.

Tableau 13. Capacité horaire et consommation énergétique

Éléments	Temps (mn)				
	7	8	10	11	12
CH (kg.h ⁻¹)	427	376	299	272	250
CSE (W.h.kg ⁻¹)	0,42	0,48	0,6	0,66	0,72

Le coût estimatif de développement du prototype est d'environ 381 300 FCFA, soit 568 USD.

4 DISCUSSION

Les performances du prototype fabriqué ont été comparées à celles du broyeur-mélangeur d'une provenderie de la place. Des échantillons de provende commercialisée ont été prélevés de ladite provenderie et analysés dans les mêmes conditions que ceux produits par le prototype. L'homogénéité de la provende a été atteinte en 30 minutes pour un tamis de mailles 5 mm de diamètre.

En comparant les performances de la provenderie à celles du prototype réalisé, on constate que la capacité horaire du prototype, bien qu'étant inférieure à celle de la provenderie, fournit des mélanges avec des taux d'homogénéités plus satisfaisants (CV inférieur à 10 %) des trois types d'aliments mélangés pour un tamis de 5 mm de diamètre.

L'analyse énergétique au niveau de la provenderie indique que l'énergie consommée pour le mélange de 1 kg de provende est en moyenne de 1,472 Wh. Le bilan énergétique du prototype dans des conditions similaires indique que l'atteinte de l'homogénéité pour 1 kg de provende consomme en moyenne 0,6 Wh indépendamment du type d'aliment, soit une économie d'énergie de l'ordre de 59 %.

Lors de la conception du prototype, l'accessibilité de l'opérateur à la machine a été prévue sur les côtés gauche et droit, dépendant de ce dernier. Il a été prévu qu'un individu de taille moyenne 1,50 mètre puisse opérer sur la machine, le poids de l'opérateur importe peu. L'opération sur la machine peut se faire même par un individu simplement entraîné. De plus la manutention de la machine est relativement simple et adaptée pour les milieux urbains et ruraux. L'unité des différentes parties ainsi que la stabilité de la machine atténuent les vibrations, réduisant ainsi considérablement le bruit lors du fonctionnement. En portant une observation sur l'implantation et le fonctionnement du mélangeur de la provenderie, on remarque que sa manutention nécessite le démontage total de ce dernier. On note aussi l'unicité spatiale quant à l'accessibilité de la machine, l'opérateur ne pouvant se positionner que par l'avant de la machine. La solution technologique adoptée au niveau du broyeur et du soufflage ascendant des aliments impose une nuisance sonore remarquable. On peut par ailleurs apprécier la stabilité de l'ensemble broyeur-mélangeur vu son poids et sa taille.

5 CONCLUSION

Cette étude avait pour but de développer et d'évaluer les performances un broyeur-mélangeur pour la production de provende. Sa réalisation s'est effectuée dans la société OMEGA INDUSTRIES S.A Douala-Cameroun tout en respectant les critères de choix des matériels et matériaux. Pour évaluer les performances du prototype réalisé, 240 échantillons de 30 grammes d'aliment (80 par type d'aliment) par diamètre de tamis (1, 3 et 5 mm) ont été analysés en trois répétitions dans le Laboratoire de Génie de Procédé de l'Université Catholique Saint-Jérôme de Douala. Le prototype réalisé permet de mélanger en moyenne 350 litres d'aliment. La capacité horaire du prototype fonction de chaque type d'aliment et de la taille du grain a été évaluée et sa consommation spécifique en énergie s'est avérée meilleure que celle obtenue sur le terrain. Ce prototype entraîne une économie d'énergie de l'ordre de 59 %. Le prototype présente une performance de mélange comprise entre 90 % et 94 %, atteinte au bout d'un temps compris entre 7 et 12 minutes, dépendant de la taille du tamis et du type d'aliment à mélanger, d'où une excellente performance. Les tests ont démontré que le taux d'homogénéité dépendait de la formulation de l'aliment et du dispositif de mélange réalisé. Le coût de production du prototype est d'environ 381 300 FCFA, soit 568 USD.

REFERENCES

- [1] Kamgnia, D.B., Douya, E., Ongolo, Z.V., Leunkeu, S. Des stratégies de lutte contre la pauvreté au Cameroun: une analyse en équilibre général calculable. Yaoundé, Cameroun: réseau de recherche: politique économique et pauvreté PEP), 2003, 14.
- [2] BM (Banque Mondiale), 2008. L'agriculture: un moteur de croissance et de lutte contre la pauvreté. Consulté le 03 Février 2022 sur <http://www.banquemondiale.org/ida>.
- [3] INS (Institut National de la Statistique). Quatrième enquête camerounaise auprès des ménages (ECAM 4): tendance, profil et détermination de la pauvreté au Cameroun entre 2001-2014. Yaoundé, Cameroun, 2015, 72.
- [4] Faye, D. Le rôle de l'élevage dans la lutte contre la pauvreté. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.*, 2001, 54 (3- 4), 231-238.
- [5] Leman, A.M., Abdul Wahab, R., Zakaria, S.F., Che, M.N., M. I. F., Muzarpar, S. (2017). The development of mixer machine for organic animal feed production: Proposed study. *AIP Conference Proceedings*. 2017, Volume: 1885.
- [6] New, M.B. Feed and feeding of fish and shrimp, ADCP/REP/87/26, FAO/UNDP, 1987, Rome.
- [7] Ugwu, K.C. Development and Performance Test of Poultry Feed Mixing and Pelleting Machine. *International Journal of Science and Research*, 2015, 4 (6), 2319-7064.
- [8] Balami, A. A., Adgidzi, D., and Mua'zu, A., 2013. Development and Testing of an Animal Feed Mixing Machine. *International Journal of Basic and Applied Science*, 2013, 1 (3), 491-503.
- [9] Makange, N.R., Parmar, R.P., Sungwa, N., 2016. Design and Fabrication of an Animal Feed Mixing Machine. *Advances in Life Sciences*, 2016, 5 (9), 3710-3715.
- [10] Jourdan, L., Astier, R., Bresciani, J., Coste, R., Neveu, P., Perrone, P., Rey, J. Construction Industrielle: collection H. Longeot L. Jourdan. Bordas Paris, Dunod, 1982, 257.
- [11] Mott, R.L. Machine elements in mechanical design, 3rd edition, E. M. Charles Pub Publishers, London, 1985, 321-325.
- [12] Budynas and Nisbett. Shigley's Mechanical Engineering Design, 8th edition. McGraw-Hill Primis, 2006, 1059.
- [13] Fanchon, J.L. Guide de mécanique. Edition Nathan, 9, Rue Méchain 75014 Paris, 2009, 576.
- [14] Fanchon, J.L. Guide des sciences et technologies industrielles. Edition Nathan, 9, rue Méchain 7514 Paris, 2017, 624.
- [15] Garlick, F. J. and Barnes, J. R. M. Technical mathematics: a second level course. London; New York: McGraw-Hill Book Co., 1981, 399pp.
- [16] Khurmi, R.S. and Gupta, J.K. A textbook of machine design. Eurasia Publishing House (PVT) LTD, Ram nagar, NewDelhi-110055, 2005, 1230p.
- [17] Ibrahim, S.O. and Fasasi, M.B., (2004). Design and development of a portable feed mixer for small-scale poultry farmers. *Proc. NIAE*, Ilorin, 2004.
- [18] SAILD (Service d'Appui aux Initiatives Locales de Développement). Fabrication artisanale de provende: dix ans de succès pour les aviculteurs de komdamba. Paris: AGRIDOC-BDPA, 2004.
- [19] Chevalier, A., Lecrinier, J. Guide du dessinateur industriel: dictionnaire de la cotation et du tolérancement, AFNOR technique. 43, quai de Grenelle 75905 paris cedex 15, 2004, 388.
- [20] Herrman, T. and Behnke, K., 1994. Testing mixer performance. MF1172. Kansas State University, Agricultural Experiment Station and Cooperative, Extension Service Bulletin, Manhattan, KS: Kansas State University, 1994.

Contribution à la connaissance des transferts hydriques entre les nappes du Quaternaire et de l'Oxfordien supérieur (calcaire) de la partie sud du Marais Poitevin (Poitou-Charentes, France)

[Contribution to the knowledge of water transfers between the Quaternary and Upper Oxfordian (limestone) aquifers of the southern part of the Poitevin marsh (Poitou-Charentes, France)]

Braphond Rodrigue Vincent Benjamin Anongba¹, Djémin Jacques Édoukou², Privat Tohour¹, and Miessan Germain Adja¹

¹École Normale Supérieure (ENS), Département des Sciences et Technologiques, Section des Sciences de la Vie de la Terre. 08 BP 10 Abidjan 08, Côte d'Ivoire

²Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan, Laboratoire des Sciences de l'Eau, du Sol et des Géomatériaux, UFR des sciences de la Terre et des Ressources Minières, (STRM). 22 BP 582, Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 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: Poitevin marsh is a typical example of anthropogenic activities influence on wetlands. One of the problems to be solved before considering preservation solutions, concerns the improvement of hydrogeological knowledge and water transfers between the marsh and Jurassic carbonate bedrock. This study aims to determine the hydrodynamic parameters of Quaternary and Upper Oxfordian aquifers in order to appreciate the water transfers between these aquifers and to better understand the hydrogeology of this area. Thus, pumping tests are carried out to determine the hydrodynamic parameters of the aquifers. The pumping tests interpretation carried out, allowed to highlight very low permeability of upper Oxfordian formations under Quaternary cover. As for the formations of Quaternary aquifer, obtained permeability coefficients are in the order of 10^{-7} m/s to 10^{-6} m/s with transmissivity values in the order of 10^{-6} to 10^{-5} m²/s and a storage coefficient in the order of 10^{-2} . However, Quaternary formations are more permeable than Upper Oxfordian formations. On the time scale of the measurements, no hydraulic connection between Quaternary and Upper Oxfordian aquifers could be observed. The water transfers between these two aquifers would therefore be very limited.

KEYWORDS: Marais Poitevin, Quaternary aquifer, Upper Oxfordian aquifer, Permeability.

RESUME: Le marais Poitevin est un exemple typique de l'influence des activités anthropiques sur les zones humides. L'un des problèmes à résoudre avant d'envisager des solutions de préservation, concerne l'amélioration des connaissances hydrogéologiques et des transferts hydriques entre le marais et le substratum carbonaté du Jurassique. Cette étude vise à déterminer les paramètres hydrodynamiques des nappes du Quaternaire et de l'Oxfordien supérieur en vue d'apprécier les transferts hydriques entre celles-ci pour mieux appréhender l'hydrogéologie de cette zone. Ainsi, des essais de pompage sont réalisés pour la détermination des paramètres hydrodynamiques des aquifères. L'interprétation des essais de pompage réalisés, a permis de mettre en évidence la très faible perméabilité des formations de l'Oxfordien supérieur sous couverture quaternaire. Quant aux formations de l'aquifère du Quaternaire, les coefficients de perméabilité obtenus sont de l'ordre de 10^{-7} m/s à 10^{-6} m/s avec, des valeurs de transmissivité de l'ordre de 10^{-6} à 10^{-5} m²/s et un coefficient d'emménagement de l'ordre de 10^{-2} . Les formations quaternaires sont cependant plus perméables que celles de l'Oxfordien supérieur. A l'échelle du pas de temps des mesures, aucune connexion hydraulique entre les aquifères du Quaternaire et de l'Oxfordien supérieur n'a pu être observée. Les transferts hydriques entre ces deux nappes seraient donc très limités.

MOTS-CLEFS: Marais Poitevin, Aquifère du Quaternaire, Aquifère de l'Oxfordien Supérieur, Perméabilité.

1 INTRODUCTION

Le marais Poitevin, est un exemple typique de l'influence des activités humaines sur les zones humides. Il fait donc l'objet d'une surexploitation de ses ressources en eau depuis plusieurs années et a vu disparaître une grande partie de sa zone inondable à la suite d'activités anthropiques [1], [2]. De plus, les nappes souterraines calcaires du Malm, du Dogger et du Lias situées en amont de ce marais sont également surexploitées. Elles font l'objet de prélèvements de plus en plus importants susceptibles de détériorer les équilibres qui président à leurs recharges naturelles, à la qualité de leurs eaux et au maintien d'un débit minimum d'étiage dans les cours d'eau drainant le marais [3]. Ainsi, des ruptures d'écoulement des cours d'eau dans le marais sont de plus en plus observées ces dernières années du fait probablement de l'existence de relations directes entre les rivières et les nappes souterraines. Malgré cette dégradation générale, le marais Poitevin reste un espace écologique d'intérêt national et fait l'objet d'études pour en comprendre son fonctionnement ([4], [5]).

La partie sud du marais Poitevin, objet de cette étude, est méconnue du point de vue hydrogéologique. En effet, l'état actuel des connaissances met en évidence des lacunes de connaissances sur les caractéristiques hydrogéologiques des formations du Quaternaire et de l'Oxfordien supérieur ainsi que sur les échanges entre celles-ci aussi bien à l'intérieur du marais qu'en amont [3]. Les études qui ont été réalisées sur cette partie du marais l'ont essentiellement été sur les sols [5], [6] [7]. [8]. Il s'avère donc nécessaire de mener des études sur l'hydrogéologie de la partie sud du marais afin de comprendre les phénomènes qui concourent à son fonctionnement et favoriser ainsi une gestion durable et efficace de cette zone humide. Les approches utilisées dans cette étude sont celles basées sur la détermination de certains paramètres hydrodynamiques des aquifères à partir des essais de pompage. Cette étude vise donc à déterminer les paramètres hydrodynamiques des nappes du Quaternaire et de l'Oxfordien supérieur de la partie sud du marais Poitevin en vue d'apprécier les transferts hydriques entre celles-ci pour mieux appréhender l'hydrogéologie de cette zone. En d'autres termes, il agit de contribuer à la connaissance du fonctionnement de circuits hydrogéologiques entre les différents aquifères rencontrés dans cette partie sud du marais. Les essais de pompage sont réalisés sur deux sites expérimentaux (Marans et Saint Hilaire la Palud).

2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le marais Poitevin, localisé à l'Ouest de la France, se présente comme une dépression s'inscrivant entre deux plaines du substratum carbonaté traduisant la structure isoclinale des formations jurassiques de la bordure septentrionale du bassin d'Aquitaine [9], [10]. Ancien Golfe des Pictons, ce marais s'étend de Niort à l'océan Atlantique, sur une longueur d'environ 70 km et est la deuxième plus grande zone humide de France après la Camargue et le plus vaste marais de la façade atlantique. Il couvre une superficie d'environ 964 km² et s'étend sur deux régions (Pays de la Loire et Poitou-Charentes) et trois départements (Vendée, Charente Maritime et Deux-Sèvres). Cette zone humide qui regroupe au total 75 communes, est assez fortement peuplée avec, 100 000 habitants recensés lors de la campagne de 1990.

La zone retenue pour cette étude est la partie sud du marais Poitevin. Elle est localisée sur les départements de la Charente Maritime et des Deux Sèvres et est située à proximité du détroit du Poitou, en bordure nord du bassin d'Aquitaine. Elle s'étend de Bessines à l'extrême Est jusqu'à Charron à l'Ouest (Figure 1). Elle englobe au total 27 communes dont 16 appartiennent au département de la Charente Maritime et 11 à celui des Deux Sèvres. La superficie totale de cette zone est estimée à 550 km². Le climat est de type océanique avec une pluviométrie moyenne annuelle de 770 mm à 840 mm. Cette pluviométrie est très irrégulièrement répartie dans l'année et se concentre principalement d'octobre à février. La topographie du marais Poitevin est très homogène avec des îlots d'altitudes variant entre 10 et 20 m. Ce sont soit des soubassements calcaro-marneux qui ont échappé au nivellement lors des phases successives d'érosion qui ont jalonné l'histoire du marais, soit des cailloux ou des graviers quaternaires reposant sur des bancs calcaires [11]. Au plan géologique et hydrogéologique, la zone d'étude est constituée de deux grandes formations géologiques qui sont les formations calcaires et marno-calcaires d'âge jurassique sur lesquelles reposent les formations du Quaternaire encore connu sous le vocable de Bri [12]. Ces deux entités géologiques permettent de différencier plusieurs aquifères dans la zone d'étude dont deux feront l'objet de cette étude. Ce sont les aquifères des formations du Quaternaire (Bri) et de l'Oxfordien supérieur (calcaire). Les formations de l'Oxfordien supérieur qui affleurent au Nord-Est, Sud-Est et au Sud de la zone d'étude, se retrouvent sous couverture des formations quaternaires au Nord (Figure 2).

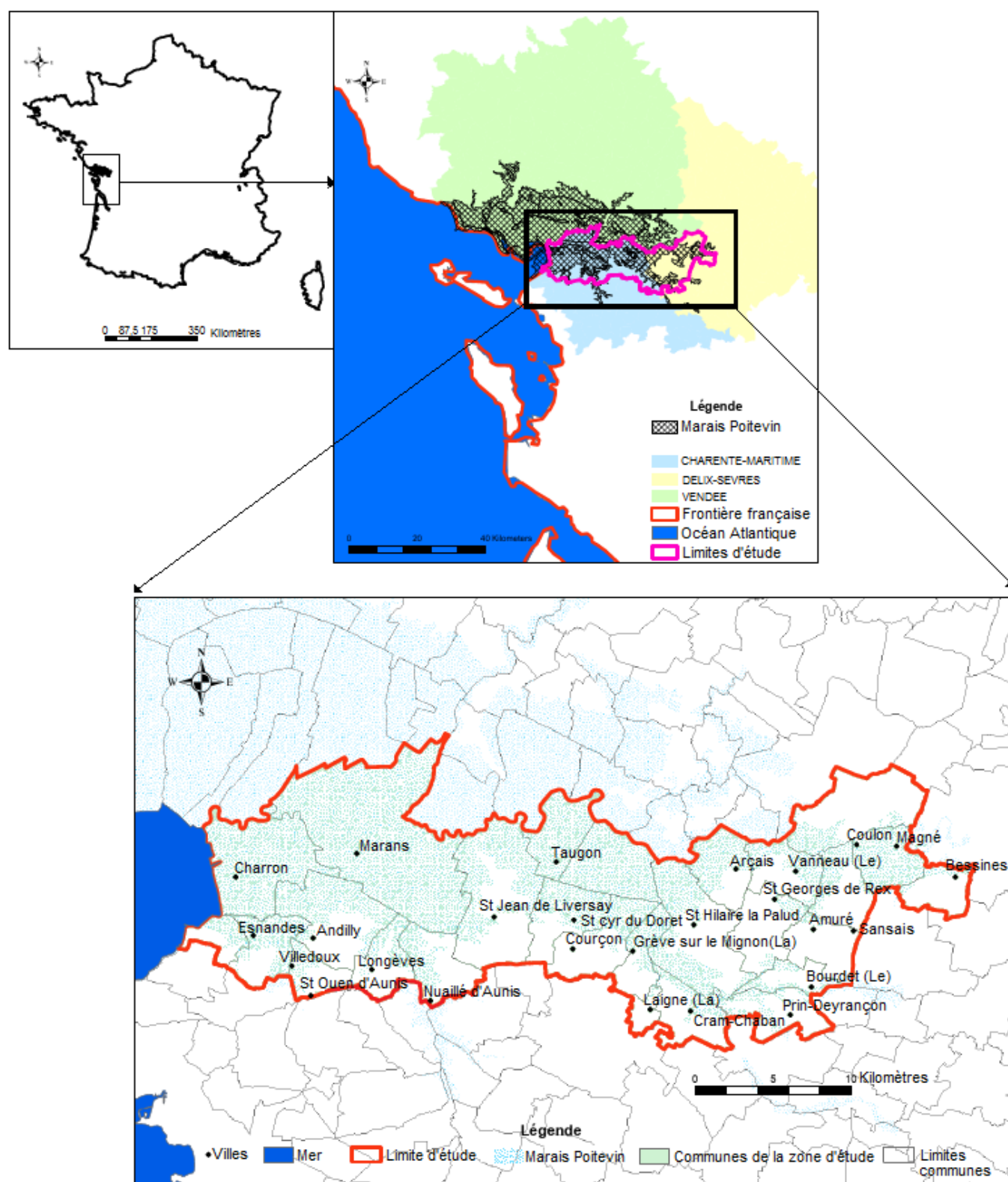


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

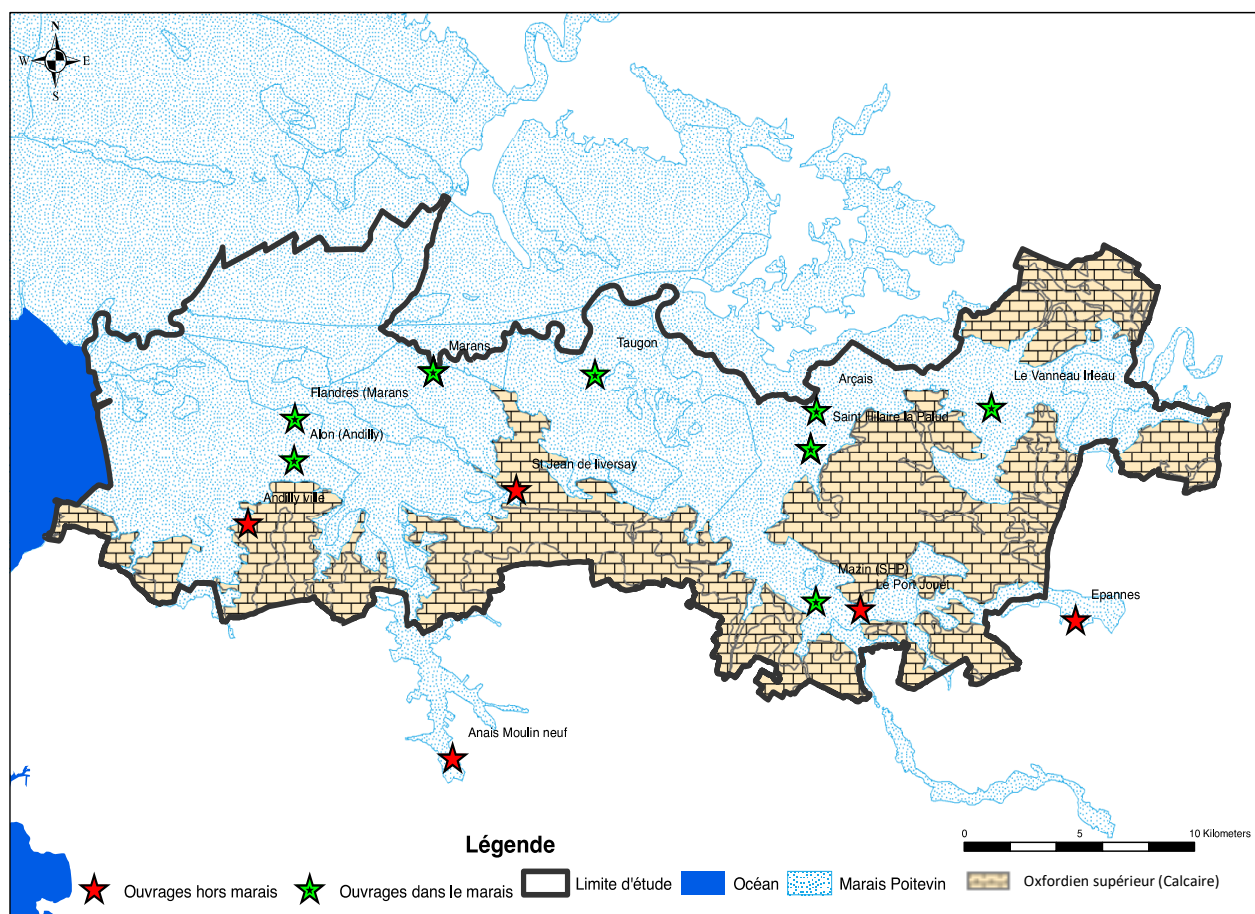


Fig. 2. Carte montrant les aquifères du Quaternaire (marais Poitevin) et de l'Oxfordien Supérieur (calcaire) avec quelques ouvrages réalisés

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 MATÉRIEL

3.1.1 IMPLANTATION DES FORAGES ET DES SONDAGES À LA TARIERE

Pour mener à bien cette étude, 19 forages ont été réalisés en mode destructif. Ils sont disposés d'Ouest en Est selon des transects Nord-Sud (Figure 3). Parmi ces forages, 8 forages destinés à des essais hydrauliques sont localisés sur deux sites expérimentaux dont l'un se trouve à Marans à l'Ouest de la zone d'étude et l'autre à Saint Hilaire la Palud, à l'Est de la zone d'étude. Sur chaque site expérimental, 4 forages ont été réalisés dont deux captent l'aquifère carbonaté du Jurassique supérieur (Oxfordien) et les deux autres celui des formations quaternaires. Les forages captant l'aquifère du Jurassique supérieur sont isolés de l'aquifère du Quaternaire par cimentation et sont espacés de 24 m au maximum. Entre ceux-ci, sont intercalés les ouvrages captant les formations du Quaternaire qui sont eux espacés de 4 m. Les onze (11) autres ouvrages disséminés dans le marais ne captent que l'aquifère du Quaternaire. Les ouvrages sur les sites expérimentaux sont décrits comme suit:

- Sur le site expérimental de Marans, les forages F1 et F4 ont une profondeur de 44 m et interceptent les formations du Quaternaire sur une épaisseur de 18 m à partir de laquelle s'observe des formations calcaires jusqu'à la base du forage. Les forages F2 et F3 avec, une profondeur de 18 m, n'interceptent que les formations du Quaternaire;
- Sur le site expérimental de Saint Hilaire la Palud (SHP), le forage F1 a une profondeur de 86 m avec, des formations quaternaires rencontrées jusqu'à 9 m de profondeur puis, des coquillages sur 20 m et des formations argileuses et marneuses sur 25 m. Les formations calcaires de l'Oxfordien supérieur sont observées à partir de 55 m de profondeur. Le forage F2 a une profondeur de 8,5 m avec, des formations quaternaires rencontrées sur une épaisseur de 7,5 m et des coquillages observés à la base. Le forage F3 est profond de 8 m et traverse les formations quaternaires sur une épaisseur de 7 m avec, une présence de coquillages à la base. Le

forage F4 à une profondeur de 21 m avec, des formations quaternaires rencontrées sur une épaisseur de 11 m à partir de laquelle, s'observe des formations calcaires jusqu'à la base du forage.

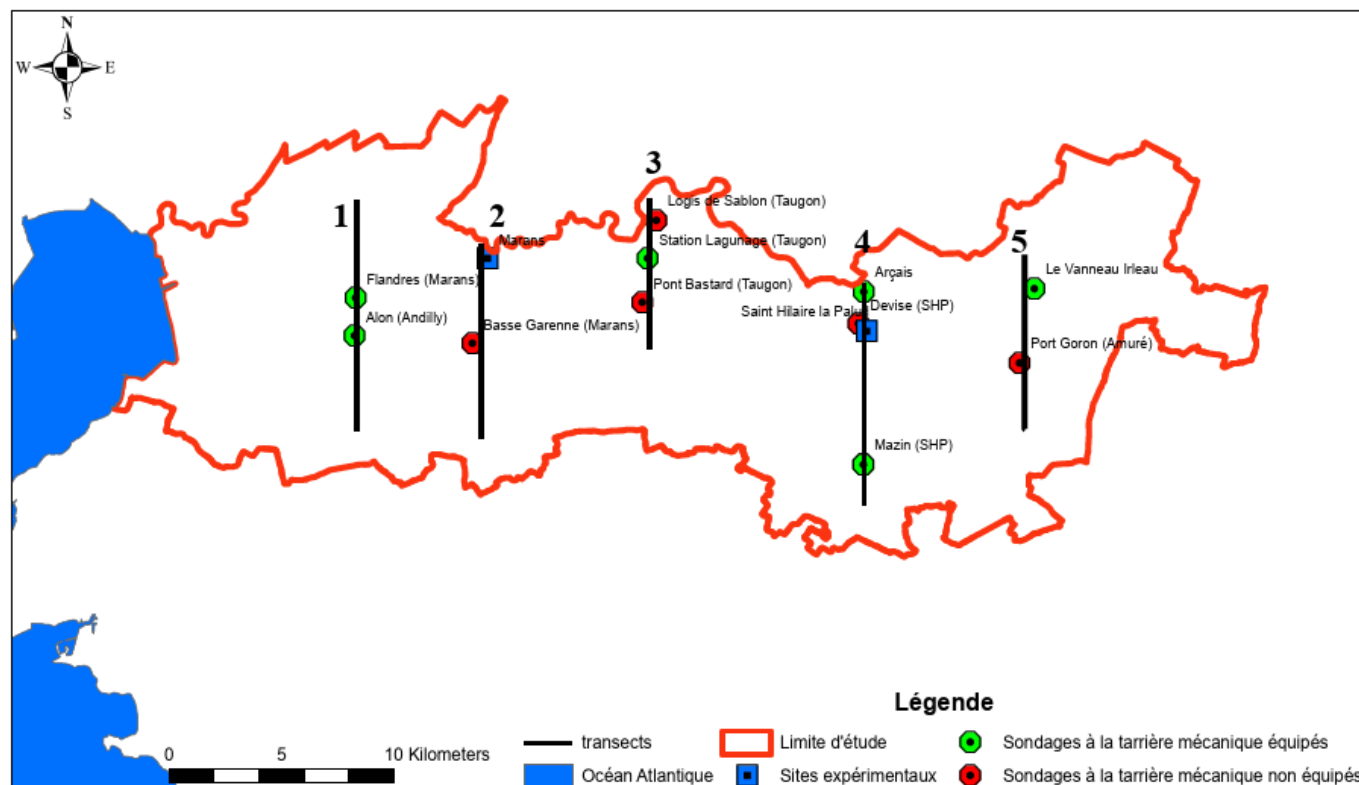


Fig. 3. Carte de localisation des sites expérimentaux à Marans et à Saint Hilaire la Palud et des sondages à la tarière mécanique

3.1.2 INSTRUMENTATION DES FORAGES DES SITES EXPERIMENTAUX

Dans le cadre de cette étude, quatre (04) forages dont deux (02) forages par site expérimental, ont été équipés en vue d'un suivi automatique et continu de certains paramètres notamment le niveau piézométrique.

Le matériel utilisé est une centrale d'acquisition appelée « Nivemac 98 S*S-4 » conçue par Hydroemac Matériels Auteg. Cette centrale d'acquisition est constituée d'un coffret en polyester étanche IP66 à quatre (04) voies d'entrées à l'intérieur duquel se trouve, un plastron de visualisation de deux (02) lignes et de seize (16) caractères alphanumériques pour la lecture des données de mesures (instantanées, minimum, maximum, et moyennes journalières) et des données de fonctionnement de l'appareil (état de la batterie, seuils d'alarmes, horodateur). Le coffret est relié à trois (03) sondes de mesure par des câbles. L'une de ces trois sondes permet de mesurer le niveau d'eau avec une gamme de mesure allant de 0 m à 40,80 m pour une résolution de 1 cm. Les centrales d'acquisition automatiques installées sur les deux sites expérimentaux effectuent des mesures toutes les heures dont la lecture s'effectue à l'aide d'un micro-ordinateur portable avec le logiciel « Logemac ». Pour la réalisation des essais de pompage dans les forages, une pompe immergée à alimentation électrique a aussi été utilisée. Ces essais de pompage sont traités à l'aide du logiciel AquiferTest Pro de Waterloo Hydrogeologic Inc.

3.2 MÉTHODES

Deux essais de pompage de longue durée à débit constant ont été réalisés en juillet 2005 sur le forage F2 du site expérimental de Marans et en mai 2006 sur le forage F3 du site expérimental de Saint Hilaire la Palud. Et cela, afin de déterminer les paramètres hydrodynamiques des aquifères de l'Oxfordien supérieur et du Quaternaire. Les autres ouvrages des sites expérimentaux ont servi de piézomètres lors des essais de pompage. Ces essais ont été interprétés à partir des expressions hydrodynamiques en régime transitoire établies par [13] et simplifiées par [14]. L'expression générale de [13] applicable à un pompage d'essai est donnée par l'équation 1:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \Leftrightarrow s = \frac{Q}{4\pi T} W(u), \text{ avec } W(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \text{ et } u = \frac{x^2 S}{4Tt} \quad (1)$$

Le terme $W(u)$ est une fonction exponentielle intégrale décroissante. Cette fonction est donnée par l'expression de l'équation 2:

$$W(u) = -0,577216 - \text{Log } u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} + \dots + \left(-\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n u^n}{n(n)!} \right) \quad (2)$$

Avec, Q: débit de pompage (m^3/s); T: transmissivité (m^2/s); s: le rabattement mesuré dans un piézomètre (m); x: la distance à partir du centre du puits au piézomètre (m); S: coefficient d'emmagasinement (sans dimension); t: temps écoulé depuis le début du pompage (s).

La méthode de [13] est généralement utilisée lorsque le temps de pompage est petit ou que la distance entre le forage et le piézomètre d'observation est très importante [15]. Le calcul des paramètres hydrodynamiques T et S est réalisé à l'aide de la courbe standard de [13] et de celle obtenue à partir des données de pompage d'essai à débit constant. Les données de pompage sont représentées sur un graphique bi-logarithmique (avec en abscisses les valeurs du temps et en ordonnées celles du rabattement) de même module que le graphique représentant la courbe standard de [13]. Les deux graphiques sont superposés en faisant coïncider la plus grande partie des deux courbes tout en conservant parallèles les axes de ceux-ci. Il est ainsi possible de déterminer un couple de point (s, t) sur le graphique du pompage d'essai et [w(u), 1/u] sur le graphique standard de [13]. Les coordonnées de ce couple de point permettent de calculer T et S des expressions des équations 3 et 4 [16]:

$$T = \frac{0,08Q}{s} w(u) \quad (3)$$

$$S = \frac{4Tt}{x^2 \cdot 1/u} \quad (4)$$

Lorsque le temps de pompage augmente, les termes du développement en série (équation 2) de la fonction exponentielle intégrale deviennent négligeables par rapport au premier terme qui est constant. De ce fait, l'expression de [13] se simplifie et [14] propose l'expression des équations 5, 6 et 7:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \left(\text{Log } \frac{4Tt}{x^2 S} - 0,577216 \right) \quad (5)$$

D'où :

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \text{Log } \frac{2,25 T t}{x^2 S} \quad (6)$$

Soit en logarithme décimal

$$s = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25 T t}{x^2 S} \quad (7)$$

Les paramètres sont les mêmes que ceux de [13]. La méthode de [14] est généralement utilisée lorsque la distance entre le forage et le piézomètre d'observation est petite [15]. Il est admis que l'expression d'approximation logarithmique de [14] (équation 7) peut être appliquée à l'aquifère à nappe libre lorsque le rabattement s, est petit comparé à l'épaisseur b, de l'aquifère. Les conditions de validité sont fixées à $s \leq 0,1 b$ avec une tolérance portée à $s \leq 0,3 b$ [17].

La méthode de [14] consiste à reporter les données du pompage sur un graphe semi-logarithmique. En effet, les rabattements (m) sont représentés en ordonnées linéaires et le temps en abscisses logarithmiques. La courbe observée en début de pompage correspond à l'effet de capacité du forage et est de ce fait non linéaire. Les points suivants donnent approximativement une droite représentative de l'expression de [14]. L'échelle n'étant pas homogène, cette pente est obtenue par l'accroissement des rabattements au cours d'un cycle logarithmique noté c . Le point d'intersection de cette droite avec l'origine des rabattements (correspondant au niveau piézométrique initial) donne le temps fictif à l'origine noté t_0 . La transmissivité T (m^2/s) et l'emmagasinement S sont obtenus respectivement à partir des expressions des équations 8 et 9:

$$T = \frac{0,183Q}{c} \quad (8)$$

$$S = \frac{2,25T t_0}{x^2} \quad (9)$$

Avec, t_0 (temps à l'origine) obtenu graphiquement.

La transmissivité étant le produit du coefficient de perméabilité K (m/s) par l'épaisseur de l'aquifère b (m) [18], il est possible de déduire le coefficient de perméabilité à partir de l'expression de l'équation 10 [17]:

$$T = K b \Rightarrow K = \frac{T}{b} \quad (10)$$

Après arrêt du pompage, l'équation de la remontée s'écrit:

$$s_r = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{t+t'}{t'} \quad (11)$$

s_r est le rabattement résiduel mesuré pendant la remontée à un instant donné (m); t : le temps écoulé depuis le début du pompage (s); t' : le temps écoulé depuis l'arrêt du pompage (s).

Les données de la remontée du niveau statique de l'eau après l'arrêt du pompage permettent d'obtenir un graphe. Les rabattements résiduels (m) sont portés en ordonnées linéaires et le temps $(t+t')/t'$ en abscisses logarithmiques. Dans ce cas de figure, seule la transmissivité peut être calculée avec l'expression de l'équation 11 [17].

Les interprétations ont été réalisées à partir des données de rabattement mesurées sur le terrain à l'aide d'une sonde piézométrique automatique.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 ESTIMATION DES PARAMETRES HYDRODYNAMIQUES (QUATERNAIRE ET OXFORDIEN SUPERIEUR)

4.1.1 SITE EXPÉRIMENTAL DE MARANS

Sur le site expérimental de Marans, les forages F1 et F4 (aquifères de l'Oxfordien supérieur et du Quaternaire) sont considérés comme parfaits. L'essai de pompage réalisé sur le forage F4 captant les formations de l'Oxfordien supérieur a permis d'avoir un débit constant ($Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ soit $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$) avec, une durée de pompage de 30 minutes. C'est le temps qu'il a fallu pour la vidange de la colonne d'eau du captage. Le forage F1 situé à 24 m du forage d'essai F4, a été utilisé comme piézomètre et son niveau d'eau n'a pas évolué durant le pompage. Les données recueillies pendant ce pompage n'ont donc pas fait l'objet d'interprétation.

Le pompage réalisé sur le forage F2 captant les formations quaternaires a duré 29 heures avec un débit de $1 \text{ m}^3/\text{h}$ soit $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. Le forage F3 captant également l'aquifère des formations quaternaires situé à 3,65m a été utilisé comme piézomètre. La remontée après arrêt du pompage a été observée pendant 93 heures (Figure 4).

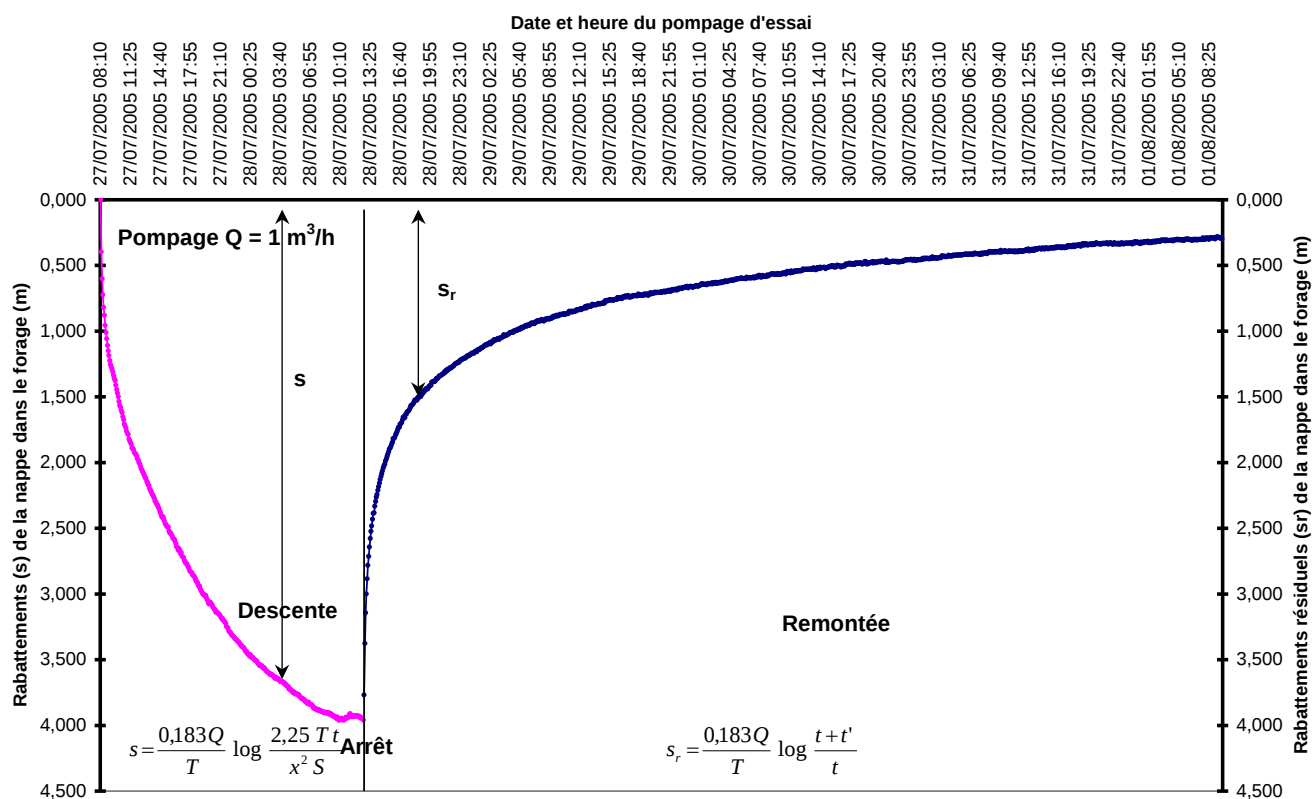


Fig. 4. Représentation des rabattements dans l'ouvrage F₃ pendant et après l'essai de pompage réalisé sur le site expérimental de Marans

Les résultats de l'interprétation des essais de pompage réalisés à Marans à partir des méthodes de [13] et de [14] sont présentés à la figure 5. Les paramètres hydrodynamiques déterminés, sont présentés dans le tableau 1. L'analyse du tableau 1 montre que le rabattement maximum dans l'ouvrage pompé (F₂) est de 4,33 m et 3,96 m dans le piézomètre (F₃) pour une épaisseur saturée respective de 15,94 m et 15,35 m. L'analyse montre aussi que:

- Les résultats selon la méthode de [13] indiquent une transmissivité de $2,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ et un coefficient de perméabilité de $1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ pour F₂ (Figure 5a); une transmissivité de $1,9 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ et un coefficient de perméabilité de $1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ pour F₃ (Figure 5b). Les données obtenues sur l'ouvrage F₃ ont permis de calculer un coefficient d'emménagement de $1,1 \cdot 10^{-2}$. En effet, les valeurs de transmissivité et de coefficient de perméabilité obtenues, sont quasi identiques aussi bien pour l'ouvrage ayant servi au test (F₂) que pour le piézomètre (F₃);
- Les résultats selon la méthode de [14] indiquent des valeurs de transmissivité obtenues de $1,8 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ pour le F₂ (Figure 5c) et $2,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ pour le F₃ (Figure 5d). Les valeurs de coefficient de perméabilité sont de $1,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ pour le F₂ et $1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ pour le F₃. Le coefficient d'emménagement obtenu à partir du piézomètre est de $9,2 \cdot 10^{-3}$.

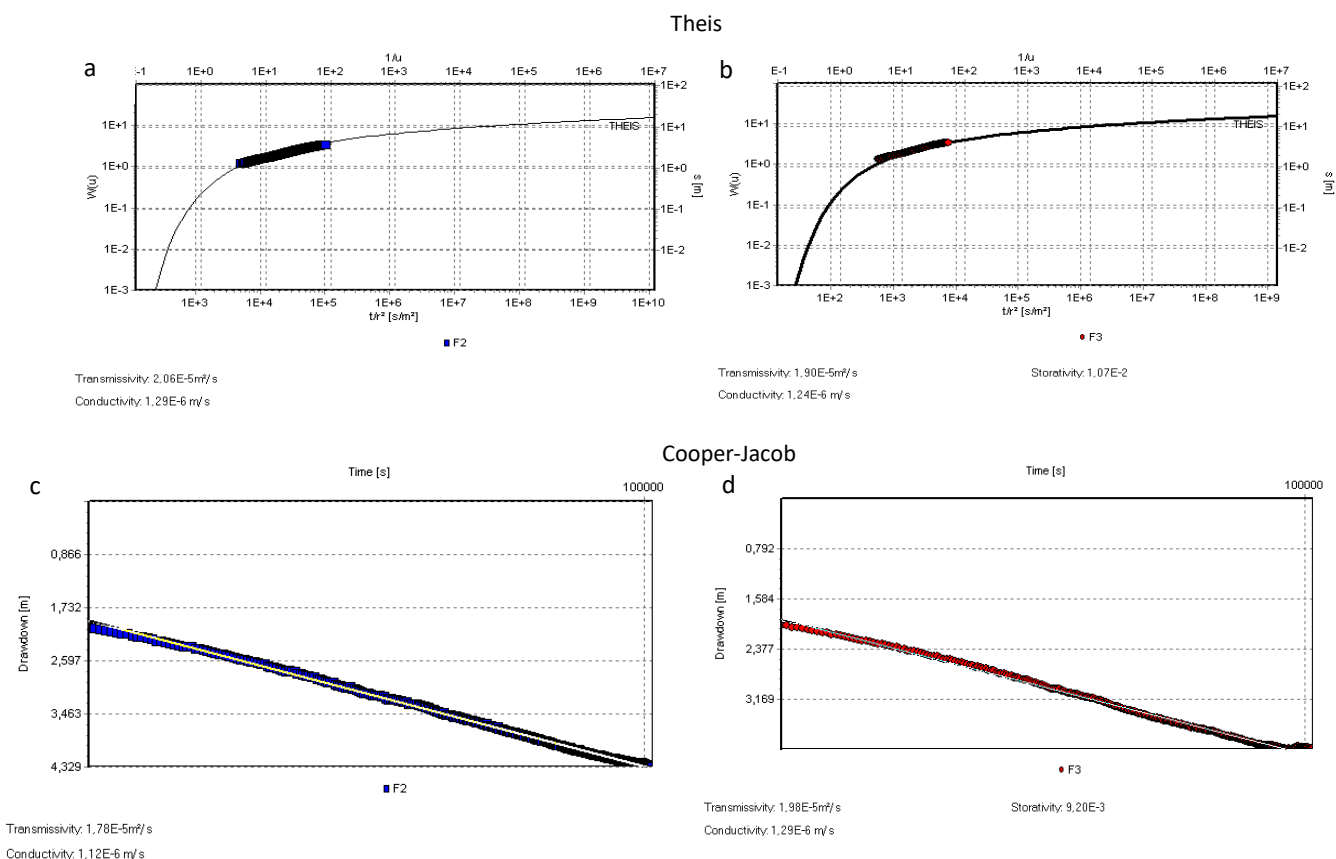


Fig. 5. Résultats de l'interprétation des essais de pompage réalisés à Marans par les méthodes Theis et de Cooper-Jacob (puits de pompage F₂, piézomètre F₃)

Tableau 1. Rabattements observés et paramètres hydrodynamiques déduits des essais de pompage à Marans

		Site de Marans					
Pompage : débit (m³/h) Pompage : durée (h)		1					
		29					
		Rabattement maximum (m)					
Calcaire (piézomètre - F4)		0,00					
Calcaire (piézomètre - F1)		0,00					
Bri (Piézomètre - F3)		3,96					
Bri (forage - F2)		4,33					
interprétation	Méthode	Theis			Cooper- Jacob		
		T (m²/s)	S	K (m/s)	T (m²/s)	S	K (m/s)
	Bri (Piézomètre - F3)	1,9 10 ⁻⁵	1,1 10 ⁻²	1,2 10 ⁻⁶	2,0 10 ⁻⁵	9,2 10 ⁻³	1,3 10 ⁻⁶
	Bri (forage - F2)	2,1 10 ⁻⁵		1,3 10 ⁻⁶	1,8 10 ⁻⁵		1,1 10 ⁻⁶

Les paramètres hydrodynamiques obtenus par la méthode de [13] et de [14] étant quasi identiques, l'analyse de la remontée est uniquement effectuée par la méthode logarithmique de [14]. La droite représentative de l'expression de [14] qui exprime les rabattements résiduels en fonction de la valeur $(t+t')/t'$ en abscisses logarithmiques (Figure 6), a permis de déterminer les valeurs de transmissivité et de coefficient de perméabilité qui sont respectivement de $4,1 \cdot 10^{-5}$ m²/s et de $2,67 \cdot 10^{-6}$ m/s lors de la remontée.

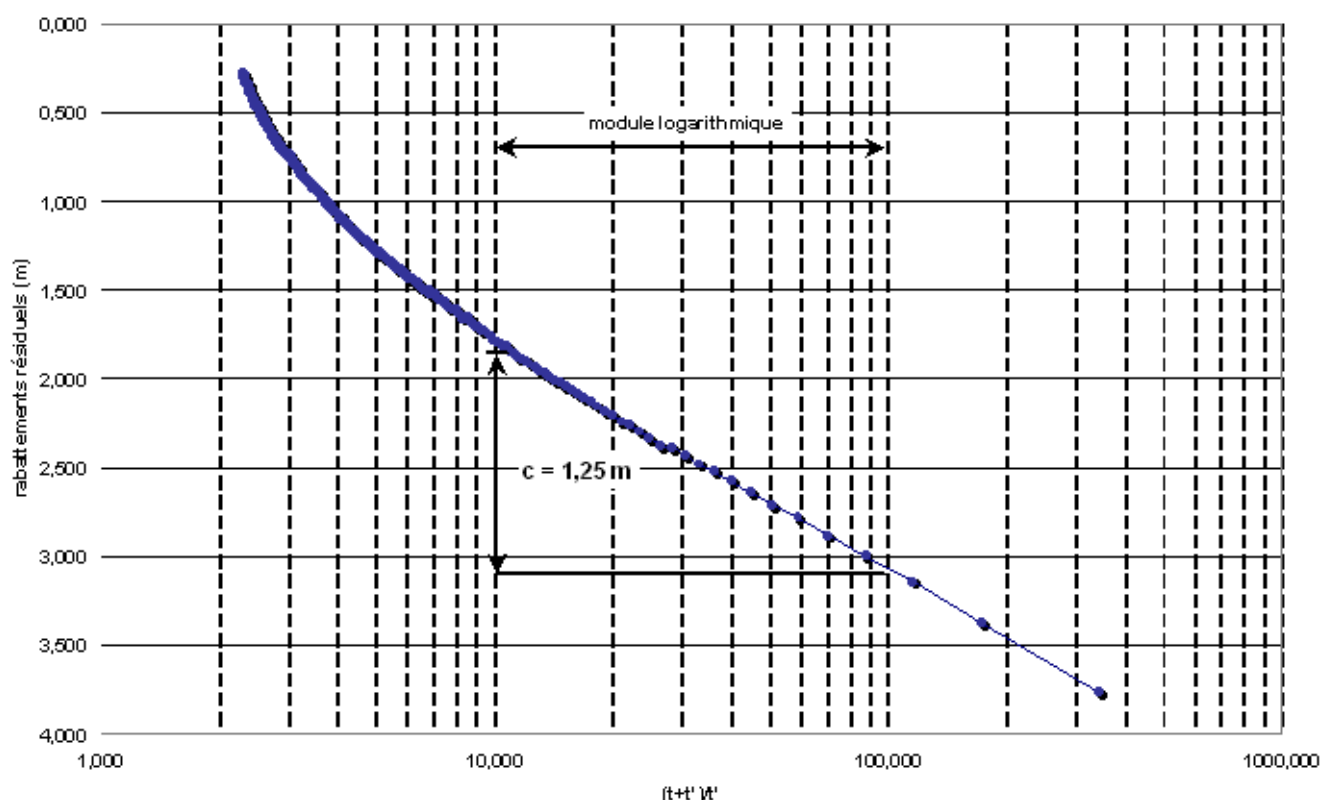


Fig. 6. Représentation semi logarithmique de la phase de remontée de l'essai de pompage réalisé dans les formations quaternaires du Marais Poitevin à Marans (Charente Maritime)

Les valeurs de transmissivité et de coefficient de perméabilité sont quasi identiques aussi bien pour la descente que pour la remontée. Les valeurs de transmissivité déterminées au cours de ces deux phases varient de $1,8 \cdot 10^{-5}$ à $4,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ soient des valeurs de transmissivité de l'ordre de $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Quant aux valeurs de coefficient de perméabilité variant de $1,1 \cdot 10^{-6}$ à $2,67 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$, elles sont de l'ordre de 10^{-6} m/s avec, un coefficient d'emmagasinement de l'ordre de 10^{-3} à 10^{-2} .

L'essai de pompage dans les formations de l'Oxfordien supérieur, sur le site expérimental de Marans, n'a duré qu'une trentaine de minutes. Il a été trop court pour qu'une interprétation fiable soit faite à partir de ces données. Cependant, la durée de ce pompage permet d'affirmer que la perméabilité de cet aquifère est très faible. De plus, la faible productivité de l'aquifère combinée au niveau piézométrique de la nappe de l'Oxfordien qui est très largement au-dessus des 18 m, toit de l'aquifère, permet d'affirmer que cette nappe est en charge sous les formations du Quaternaire sans relation apparente avec le milieu superficiel.

L'interprétation de l'essai de pompage réalisé dans les formations du Quaternaire donne des valeurs de coefficient de perméabilité de l'ordre de 10^{-6} m/s . Ces valeurs du coefficient de perméabilité permettent de qualifier les formations du Quaternaire dans le marais à Marans de peu perméables donc un écoulement souterrain assez faible avec, des valeurs de transmissivité de l'ordre de $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. A contrario, la forte valeur du coefficient d'emmagasinement (de l'ordre 10^{-2}) obtenue au cours de l'essai de pompage montre que la nappe quaternaire du site expérimental de Marans est libre. A l'échelle du pas de temps des mesures (≈ 1 journée et $1/4$), aucune connexion entre les aquifères du Quaternaire et de l'Oxfordien n'a été mise en évidence sur le site expérimental de Marans au cours des essais de pompage. En effet, le pompage dans un aquifère n'a eu aucune incidence dans l'autre.

4.1.2 SITE EXPERIMENTAL DE SAINT HILAIRE LA PALUD

Des essais de pompage ont été réalisés sur le site expérimental de Saint Hilaire la Palud. Les aquifères sollicités sont également ceux des formations de l'Oxfordien supérieur et du Quaternaire. Comme dans le cas du site expérimental de Marans, seul l'aquifère du Quaternaire est capté dans sa totalité et les ouvrages utilisés sont considérés comme parfaits. La durée du pompage réalisé sur l'ouvrage F4 captant les formations de l'Oxfordien n'a duré que 20 minutes à débit constant ($Q = 0,36 \text{ m}^3/\text{h}$ soit $10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$). Le second forage F1 situé à 20 m du forage F4 a été utilisé comme piézomètre. Son niveau d'eau n'a pas évolué durant le pompage dans F4. Aucune incidence

n'a été constatée sur les ouvrages F2 et F3. Comme dans le cas des essais de Marans, le pompage réalisé dans les formations de l'Oxfordien supérieur à Saint Hilaire la Palud n'a pas été interprété à cause de la trop courte durée du pompage due à la faible productivité de l'ouvrage.

Le pompage réalisé sur le forage F3 captant les formations quaternaires, a duré une heure (1h) avec un débit de $0,36 \text{ m}^3/\text{h}$ soit $10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$. Le régime permanent étant atteint au bout de 15 minutes de pompage (Figure 6), il a été décidé de ne pas prolonger la durée de ce dernier de plus d'une heure. Le forage F2 captant également l'aquifère des formations quaternaires situé à un peu moins de 3 m et le forage F4 captant les formations de l'Oxfordien supérieur ont été utilisés comme piézomètres. Aucune variation de leur niveau piézométrique n'a été constatée au cours du pompage dans le forage F3. La remontée après arrêt du pompage a été observée pendant près de 5 heures dans le forage F3 avec un niveau piézométrique qui est presque revenu à sa position initiale (Figure 7).

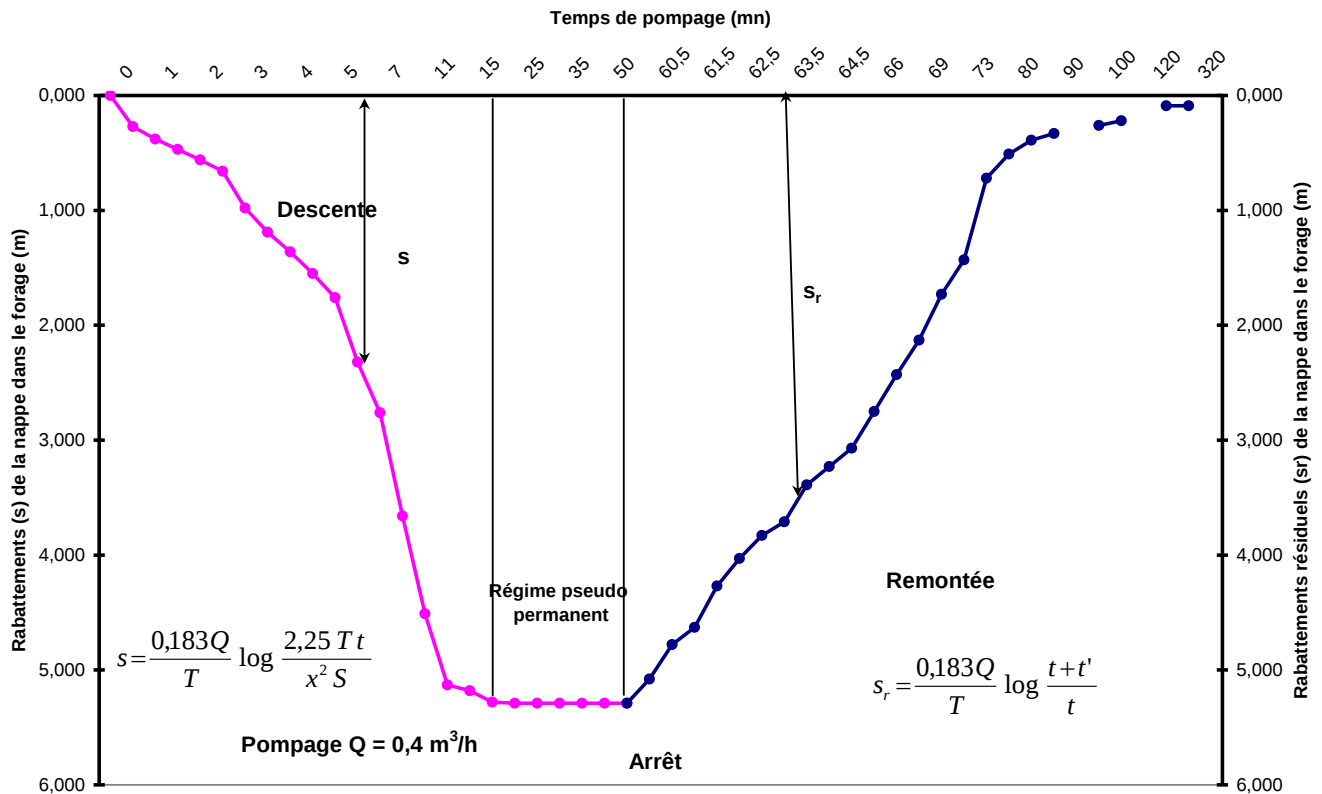


Fig. 7. Représentation des rabattements dans l'ouvrage F₃ pendant et après le pompage l'essai de pompage réalisé sur le site expérimental de Saint Hilaire la Palud

Les résultats de l'interprétation des essais de pompage réalisés sur le site expérimental de Saint Hilaire la Palud à partir des méthodes de [13] et de [14] sont présentés à la figure 8. Les paramètres hydrodynamiques déterminés, sont présentés dans le tableau 2. L'analyse du tableau 2 montre que le rabattement maximum dans l'ouvrage pompé (F3) est de 5,29 m, supérieur à la condition de validité fixée à $s \leq 0,3 b$ ($s \leq 2,05 \text{ m}$). L'analyse montre aussi que:

- Les résultats selon la méthode de [13] indiquent une transmissivité de $4,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ et un coefficient de perméabilité de $6,9 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ pour le forage F₃ (Figure 8a);
- Les résultats selon la méthode de [14] indiquent une valeur de transmissivité de $3,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ et un coefficient de perméabilité de $4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ pour le forage F₃ (Figure 8b). Dans le cas du pompage à Saint Hilaire la Palud, il n'a pas été possible de calculer le coefficient d'emmagasinement par manque de piézomètre.

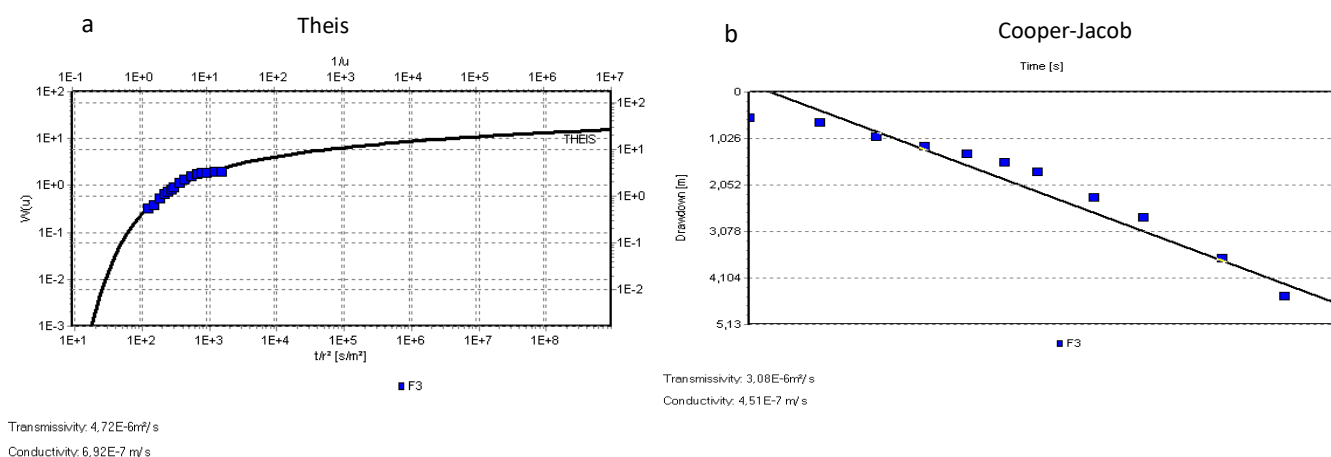


Fig. 8. Résultats de l'interprétation des essais de pompage réalisés à Saint Hilaire la Palud par les méthodes de Theis et de Cooper-Jacob (Forage F₃, piézomètres F2 et F4)

Tableau 2. Rabattements observés et paramètres hydrodynamiques déduits des essais de pompage à Saint Hilaire la Palud

		Site de Saint Hilaire la Palud					
Pompage : débit (m ³ /h)		0,36					
Pompage : durée (h)		1					
		Rabattement maximum (m)					
Calcaire (piézomètre - F4)		0,00					
Calcaire (piézomètre - F1)		0,00					
Bri (Piézomètre - F2)		0,00					
Bri (forage - F3)		5,29					
interprétation	Méthode	Theis			Cooper- Jacob		
		T (m ² /s)	S	K (m/s)	T (m ² /s)	S	K (m/s)
	Bri (forage - F3)	4,72 10 ⁻⁶		6,92 10 ⁻⁷	3,08 10 ⁻⁶		4,51 10 ⁻⁷

Comme dans le cas de Marans, la phase de remontée a été interprétée manuellement uniquement par la méthode de [14] (Figure 9). Les valeurs de transmissivité et de coefficient de perméabilité déterminées sont respectivement de $6,91 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ et de $1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ lors de la remontée. Les paramètres hydrodynamiques calculés au cours du pompage et ceux calculés au moment de la remontée du niveau d'eau sont quasi identiques c'est-à-dire de l'ordre de $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ($4,72 \cdot 10^{-6}$ à $3,08 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) pour la transmissivité et de l'ordre de 10^{-7} m/s ($6,92 \cdot 10^{-7}$ à $4,51 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$) à 10^{-6} m/s soit $1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ pour le coefficient de perméabilité.

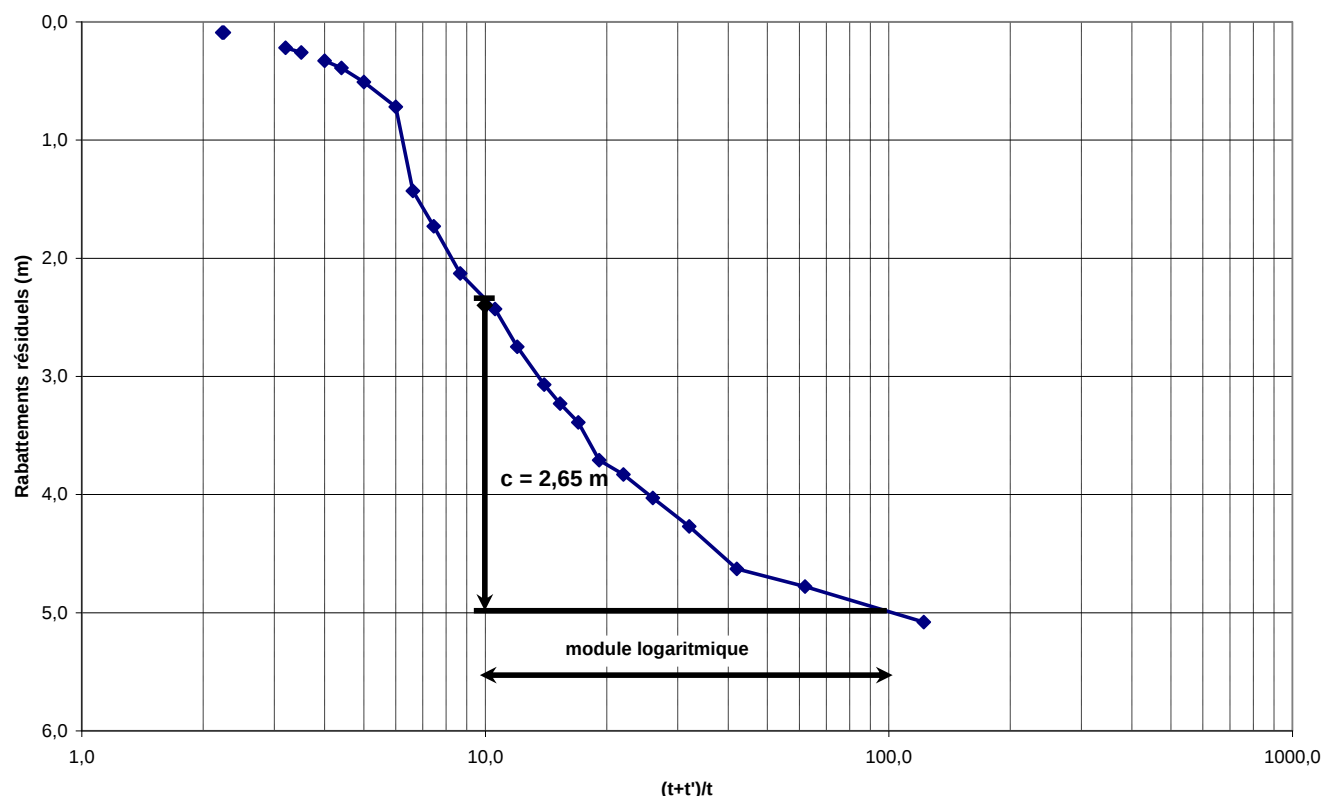


Fig. 9. Représentation semi logarithmique de la phase de remontée lors du pompage d'essai réalisé dans les formations quaternaires du Marais Poitevin à Saint Hilaire la Palud

La durée du pompage dans les formations de l'Oxfordien sur le site expérimental de Saint Hilaire la Palud, comme dans le cas de Marans, dénote d'une très faible perméabilité des formations de l'Oxfordien supérieur sous couverture quaternaire. La faible productivité de l'aquifère combinée au niveau piézométrique de la nappe de l'Oxfordien supérieur qui se situe au-dessus du toit de l'aquifère, permet d'affirmer également que cette nappe est en charge sous les formations du Quaternaire.

L'interprétation de l'essai de pompage réalisé dans les formations superficielles du Quaternaire donne des valeurs de coefficient de perméabilité de l'ordre de 10^{-7} à 10^{-6} m/s. Les formations superficielles rencontrées sur le site expérimental de Saint Hilaire la Palud peuvent donc être qualifiées, comme dans le cas de Marans, de peu perméables. Les écoulements souterrains y sont également faibles avec, des valeurs de transmissivité de l'ordre de 10^{-6} m²/s. Contrairement, au site de Marans, il n'a pas été possible d'estimer la valeur du coefficient d'emménagement de l'aquifère des formations du Quaternaire sur le site de Saint Hilaire la Palud, par manque de piézomètre. Comme dans le cas de Marans, le pas de temps durant lequel a été réalisé l'essai de pompage n'a pas permis de constater une connexion hydraulique entre les aquifères du Quaternaire et de l'Oxfordien supérieur. Le pompage dans un aquifère ne provoquait aucune incidence dans l'autre.

4.2 DISCUSSION

Les essais de pompage réalisés au cours de ce travail ont permis de mettre en évidence la faible perméabilité des formations de l'Oxfordien supérieur. En effet, les essais réalisés dans les ouvrages captant ces formations n'ont pu aller à leur terme à cause d'une faible recharge de cet aquifère ce qui a eu pour conséquence la vidange de l'ouvrage et le dénoyage de la pompe. De ce fait, il n'a pas été possible d'estimer un coefficient de perméabilité pour ces formations sur les deux sites expérimentaux. A contrario, les essais réalisés dans les ouvrages des formations captant l'aquifère du Quaternaire ont permis d'obtenir des coefficients de perméabilité assez faibles (de l'ordre de 10^{-6} m/s à Marans et 10^{-7} m/s à Saint Hilaire la Palud). Ces valeurs sont supérieures à celles généralement attribuées à des milieux qualifiés d'imperméables pour lesquels les coefficients de perméabilité sont largement inférieurs à 10^{-7} m/s [19]. Néanmoins, les formations quaternaires à Saint Hilaire la Palud semblent moins perméables que celles de Marans. Toutefois, une certaine hétérogénéité existe dans ces formations du Quaternaire [4]. Ainsi, le toit de ces formations apparaît moins perméable avec des valeurs de coefficient de perméabilité inférieures à 10^{-7} m/s. Cette faible perméabilité en surface expliquerait le fait que l'eau ait tendance à stagner en surface

plusieurs jours après un épisode pluvieux. Même si, aucune valeur sur la perméabilité des formations de l'Oxfordien supérieur sous couverture quaternaire n'a pu être déterminée, il est cependant aisé d'affirmer que les formations du Quaternaire sont beaucoup plus perméables que celles de l'Oxfordien supérieur sur lesquelles elles reposent. Dans les deux cas, les écoulements souterrains sont faibles mais, un peu plus importants dans les formations du Quaternaire que celles de l'Oxfordien supérieur avec, des valeurs de transmissivité respectives de l'ordre de $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ et $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

A l'échelle du pas de temps des essais réalisés, aucune connexion hydraulique n'a pu être observée entre les formations du Quaternaire et celles de l'Oxfordien supérieur aussi bien sur le site expérimental de Saint Hilaire la Palud que sur celui de Marans. En effet, les différentes perturbations engendrées dans l'un des deux aquifères lors des différents essais n'ont à aucun moment modifié l'équilibre de l'autre aquifère. Deux hypothèses peuvent être avancées: soit il n'existe pas de connexions hydrauliques entre les aquifères du Quaternaire et de l'Oxfordien supérieur à l'endroit où se trouvent les sites expérimentaux, soit le temps de pompage et le volume d'eau extrait sur les deux sites n'ont pas permis d'observer l'impact de la perturbation d'un des aquifères dans l'autre.

Il faut enfin noter que les niveaux piézométriques des formations de l'Oxfordien supérieur qui sont au-dessus du toit de cet aquifère, aussi bien à Saint Hilaire la Palud qu'à Marans, permettent de conclure à la captivité de la nappe de cet aquifère sous les formations quaternaires. A l'inverse, la valeur du coefficient d'emménagement obtenue au cours de ces tests hydrauliques permet d'affirmer que la nappe du Quaternaire est libre du moins celle localisée à Marans car aucun coefficient d'emménagement n'a pu être calculé à Saint Hilaire la Palud. Toutefois, le niveau piézométrique de cette dernière (inférieur au toit de l'aquifère) laisse penser qu'elle est également libre.

5 CONCLUSION

L'étude hydrodynamique de la partie sud du marais Poitevin à partir de l'interprétation d'essais de pompage sur les deux sites expérimentaux (Marans et Saint Hilaire la Palud) a montré que la nappe de l'Oxfordien supérieur, de productivité faible, est en charge sous les formations quaternaires sans relation apparente avec le milieu superficiel. Les faibles valeurs de coefficient de perméabilité déterminées sur les deux sites expérimentaux c'est-à-dire de l'ordre de 10^{-6} m/s à Marans et de 10^{-7} à 10^{-6} m/s à Saint Hilaire la Palud, permettent d'affirmer que les formations quaternaires sont peu perméables. En effet, la nappe quaternaire est une nappe libre avec, de faibles valeurs de transmissivité de l'ordre de 10^{-6} à $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ et un coefficient d'emménagement assez important de l'ordre de 10^{-2} . Cependant, les formations du Quaternaire sont beaucoup plus perméables que celles de l'Oxfordien supérieur sur lesquelles elles reposent. A l'échelle du pas de temps des mesures, aucune connexion hydraulique entre les aquifères du Quaternaire et de l'Oxfordien supérieur n'a pu être observée aussi bien sur le site expérimental de Saint Hilaire la Palud que sur celui de Marans. Le pompage dans un aquifère ne provoquait aucune incidence dans l'autre.

REFERENCES

- [1] Guetté A., 2018. Contribution à l'analyse multiscalaire de l'anthropisation et de la naturalité en géographie de la conservation. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Loire, 245p.
- [2] Guetté A., Robin M., Godet L., (2018) Historical anthropization of a wetland: steady encroachment by building and roads versus back and forth trends in habitat composition and demography. *Applied Geography*, 92: 41-49.
- [3] Safège ingénieurs conseils (2001). Rapport étude hydrogéologique de la nappe intensément exploitée de l'Aunis, 228p.
- [4] Anongba B.V.R. (2007). Identification du système hydrogéologique des formations quaternaires et callovo-oxfordiennes du Marais Poitevin par approche couplée minéralogique, hydrodynamique et géochimique. Thèse de Doctorat de l'Université de Poitiers (France), 319 p.
- [5] Bernard M. (2006): Étude des comportements des sols de marais: évolution minéralogique, structurale et hydromécanique. (Marais de Rochefort et Marais Poitevin). Thèse de doctorat. Université de Poitiers. 309 p.
- [6] Garnier D. (1975): Contribution à l'étude de la pédogenèse récente: les sols sur argile à scrobiculaire du Marais Poitevin. Thèse de doctorat. Université de Poitiers. 91p.
- [7] Ducloux J et Nijs R. (1972): Contribution à l'étude géologique et géomorphologique du Marais Poitevin, *Bull. de la Soc. Belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie*, t.81, fasc. 3-4, pp. 227-249.
- [8] Dupuis J. (1969): Le climat et l'économie de l'eau dans les sols de marais mouillés. Étude pédologique du Marais Poitevin, tome II, 144p.
- [9] Dupuis J., Dutreuil J.P., et Jambu P. (1965): Observation sur quelques sols récents du littoral Poitevin. *Sc. Du sol*, n°2, Pp. 173-188.
- [10] Camuzard J.P. (2000): Les sols marqueurs de la dynamique des systèmes géomorphologiques continentaux. Thèse de doctorat de l'Université de Caen. Volume I pp 53-129.
- [11] Welsch J. (1916): Le Marais Poitevin. *Annales de Géographie*., tome XXV. Pp326-346.
- [12] Mazeau M., (1979). Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du Jurassique supérieur entre Courçon et Saint Jean D'Angély. Thèse de Doctorat. Université de Bordeaux I. xp.
- [13] Theis, C.V., 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage, *Am. Geophys. Union Trans.*, vol. 16, pp. 519-524.
- [14] Jacob, C.E. (1950) *Flow of Groundwater in Engineering Hydraulic*. John Wiley & Sons, New York, 321-386.
- [15] Detay M.: (1993): le forage d'eau: réalisation, entretien, réhabilitation, ingénierie de l'environnement. Masson, Paris, 379 p.
- [16] Llamas J., (1993): hydrologie générale: principes et applications. 2^{ème} édition. Gaëtan Morin, Paris, 527 p.
- [17] Castany G., 1982. Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod Université, Paris, 236 p.
- [18] Castany G and Margat J., 1977: Dictionnaire français d'hydrogéologie. Edition BRGM 249 p.
- [19] Mathieu C., Pieltain F., Asseline J., Chossat J. C., Valentin Ch., 1998: Analyse physique des sols: méthodes choisies. Londres, Paris, New-York. Tec & Doc. 275 p.

Palmeraie de l'Aïr: Diversité, Structure et Régénération de peuplement naturel

[Aïr palm grove: Diversity, Structure and Regeneration of natural stands]

Ado Ali¹, Adamou Hamadou Wankoye², Zakariawa Kanda Raila², Maman Maârouhi Inoussa², Ali Mahamane², and Mahamane Saâdou²

¹Université d'Agadez, Faculté des Sciences et Techniques, BP: 199 Agadez, Niger

²Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie, Laboratoire Garba Moukaila, BP: 10662 Niamey, Niger

Copyright © 2023 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 recurrence of droughts season in the Sahel, related to rainfall deficits and increasing anthropization, has consequences on the ecosystems production. This drought affects the production of date palms despite its great phenological plasticity (adaptability) to arid zone conditions. The aim of this study is to characterize the population of *P. dactylifera* L. in the Agadez region for a better knowledge of the ecology of the species and its socio-economic importance. Thus nine (9) villages were prospected on the using of systematic sampling, including three (3) in the municipality of Dabaga, four (4) in Tabelot, one (1) in Tchirozérine, and one (1) in Ingall. In each village, the forest inventories were carried out. These surveys were made along the transects in plots of 50m*50m. A total of 89 plots were prospected and 25 ligneous species belonging to 22 Genus and divided into 15 families were inventoried. The most represented families are: Mimosaceae with seven (7) species (28%), Arecaceae with (8%); Capparaceae (8%); Myrtaceae (8%); Rutaceae (8%) with two (2) species each. The population of *P. dactylifera* in Agadez is characterized by young trees (with the shape parameter $c=3.19$), a high IVI (76.71%), a density varying between 36.86 to 194.77 tree/ha, a regeneration rate of 9 to 54% for semis and 25 to 85% stump rejection. This prospective study constitutes a basis in the program for sustainable development of the Aïr palm groves.

KEYWORDS: *Phoenix dactylifera*, palm groves, structure, Niger.

RESUME: La récurrence durant ces dernières décennies des sécheresses, relative aux déficits pluviométriques et à l'anthropisation croissante, a des conséquences sur la production vivrière des écosystèmes. Cette sécheresse affecte la production des palmiers dattiers malgré, sa grande plasticité phénologique (capacité d'adaptation) aux conditions plus arides. Le but de la présente étude est de caractériser le peuplement à *P. dactylifera* L. de l'Aïr dans la région d'Agadez pour une meilleure connaissance de l'écologie de l'espèce (*P. dactylifera* L.). Ainsi dix (9) villages ont été prospectés sur la base d'un échantillonnage systématique dont trois (3) dans la commune de Dabaga, quatre (4) à Tabelot, un (1) à Tchirozérine et un (1) à Ingall. Dans chaque village échantillonné, des relevés des espèces ligneuses ont été effectués. Ces relevés ont été faits le long des transects dans des placettes de 50m*50m. Au total 89 placettes ont été prospectées, et ont permis d'inventorier 25 espèces ligneuses appartenant à 22 genre et réparties en 15 familles. Les familles les plus représentées sont: les Mimosaceae avec sept (7) espèces (28%) suivi des Arecaceae avec (8%); Capparaceae (8%); Myrtaceae (8%); Rutaceae (8%) avec deux (2) espèces chacune. La population de *P. dactylifera* de palmeraie de l'Aïr est jeune (avec le paramètre de forme $c=3,19$), caractérisée par un fort IVI (76,71%), une densité variant entre 36,86 à 194,77 pieds/ha, un taux de régénération de 9 à 54% pour les semis et de 25 à 85% de rejet souche. Cette étude constitue une base scientifique dans le programme de valorisation durable des palmeraies au Niger.

MOTS-CLEFS: *Phœnix dactylifera*, palmeraies, Structure, Niger.

1 INTRODUCTION

Au cours de ces dernières décennies, le Niger subit les effets des chocs climatiques entraînant une sécheresse persistante et une dégradation des sols qui ont accéléré une avancée du désert. Cela a causé des déficits majeurs sur la production agricole [1]. A l'échelle du Sahel, des tendances au reverdissement sont mises en évidence sur la plus grande partie de la région mais le Sud-ouest nigérien montre une tendance à la baisse du reverdissement ainsi que l'augmentation de la productivité végétale [2]. Ainsi, l'agriculture du Niger doit faire face à ce changement afin de répondre à la sécurité alimentaire de la population de plus en plus croissante. En effet la culture du palmier dattier dans le sahel est largement reconnue comme une activité déterminante pour assurer la sécurité alimentaire [3].

Le palmier dattier est une plante polyvalente [4]. Ses services écosystémiques permettent le développement de diverses formes de vie animale et végétale indispensables aux populations des zones arides [5]. Cependant selon le rapport de [6] vu les multiples valeurs socio-économiques et nutritionnelles qu'offre le palmier dattier, une journée internationale de l'année 2027 lui est proclamée. Cette espèce dioïque est une plante d'intérêt écologique, socio-économique et culturel majeur pour des nombreux pays des zones arides et semi-arides qui comptent parmi les plus chauds du monde [4] et [7]. Ses divers usages et la valeur nutritive de ses fruits [8-9], ont fait de dattier la principale ressource vivrière et financière des populations oasiennes [10]. En effet, elle présente de plus une remarquable adaptation aux conditions des climats arides les plus sévères [11]. Il est largement cultivé pour ses multiples usages et ses services éco-systémiques, en particulier pour ses fruits comestibles dont des milliers de variétés ont été sélectionnées [12] et pour sa capacité d'adaptation aux conditions des climats arides les plus sévères [12]. Malgré ses services écosystémiques, peu d'études ont été réalisées sur l'écologie *P. dactylifera* au Niger. Il s'avère nécessaire de réaliser une étude prospective afin d'envisager sa valorisation durable. Il s'agit particulièrement d'établir la composition floristique et la structure de peuplement à *P. dactylifera* dans ses unités d'occupation.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 ZONE D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée sur les palmeraies du département de Tchirozérine et d'Ingall situés dans la région d'Agadez (Figure1). A l'instar de l'ensemble du massif de l'Aïr, le climat de la commune de Tchirozérine est de type tropical aride [13]. Cependant la commune de Dabaga et Tabelot vit d'un climat semi-aride, de type sahélo-saharien avec des amplitudes thermiques élevées. Ces zones se caractérisent par deux grandes saisons difficiles à vivre (l'harmattan avec une température moyenne comprise entre 0°C et 10°C en janvier et la mousson avec une température au voisinage de 45°C) et une saison stable (saison de pluvieuse). Elle se caractérise par un taux élevé de l'humidité qui se traduit par un léger fléchissement des températures. La commune de Tabelot se situe dans l'isohyète 100 mm. La moyenne de pluie pour la période 1966-2005 est de 89,95 mm.

La végétation se trouve dans les bas-fonds, dans les plaines et sur les dunes. En effet, le couvert végétal est déterminé par plusieurs paramètres: la disponibilité de l'eau; le relief; la nature des sols; les saisons. En général, les ligneux les plus rencontrés dans ces zones sont: *Acacia raddiana*, *Acacia nilotica*, *Salvadora persica* et *Hypheane thebaica*. Quant à la composante herbacée les plus rencontrées sont: *Panicum tirgidum*; *Brachiaria ramosa*; *Aristida mutabilis*; *Cymbopogon schoenanthus* [14].

Les communes de Tchirozérine, Tabelot et Dabaga sont caractérisées par une organisation géologique complexe, permettant néanmoins d'identifier des unités géomorphologiques telles que: des massifs montagneux de type granitique ou volcanique, des collines, de regs caillouteux, de roches détritiques.

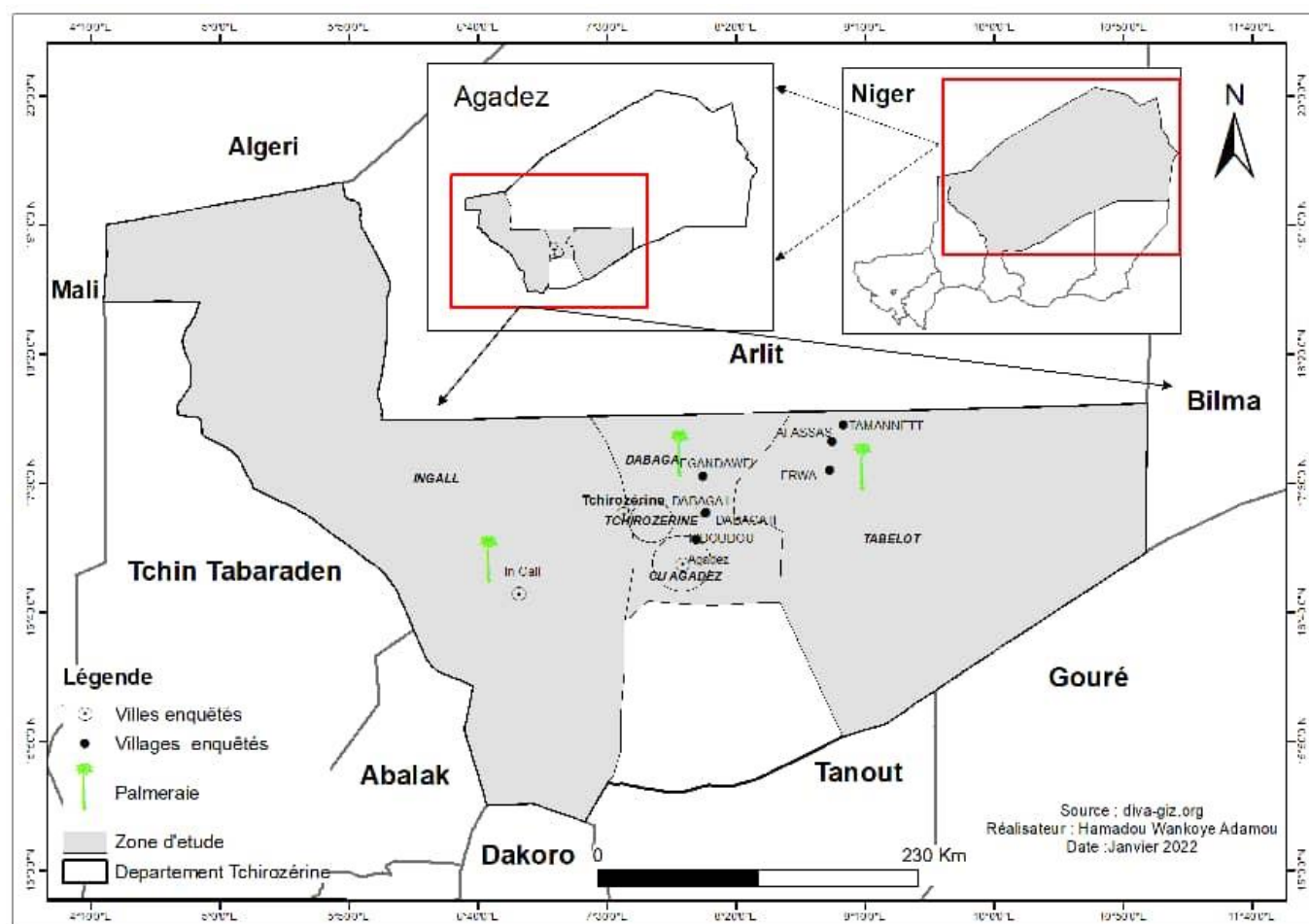


Fig. 1. Carte de la zone d'étude

2.2 RELEVÉ DES ESPÈCES LIGNEUSES

2.2.1 SÉLECTION DES VILLAGES À ÉCHANTILLONNER

En fonction de l'accessibilité des zones et les types de formations végétales l'échantillonnage a concerné deux départements dont quatre (4) communes et neuf (9) villages à savoir le département d'Ingall (commune d'Ingall) et le département de Tchirozérine (les communes de Tchirozérine; d'Agadez; de Dabaga et de Tabelot). Dans chaque commune des villages dans lesquels on pratique la phœniciculture ont été échantillonnés.

2.2.2 ÉCHANTILLONNAGE

Dans le cadre de cette étude, pour mieux caractériser la population de *P. dactylifera* les relevés de toutes les espèces ligneuses ont été réalisés suivant la méthode systématique, afin d'inventorier les maximum d'informations sur ces espèces en relation avec le dattier. Dans chaque terroir de village échantillonné, à l'intérieur des palmeraies, des transects parallèles sont mis en place. Ces transects sont perpendiculaires aux vallées qui traversent le plus souvent les palmeraies. Cela permet d'analyser la variation de la densité d'arbres suivant la toposequence. Sur chaque transect des placettes de 50×50 m et équidistantes de 250 m ont été installées. A l'intérieur de chaque placette, toutes les espèces ligneuses adultes ainsi que les rejets de dattier ont été recensés (Figure 2).

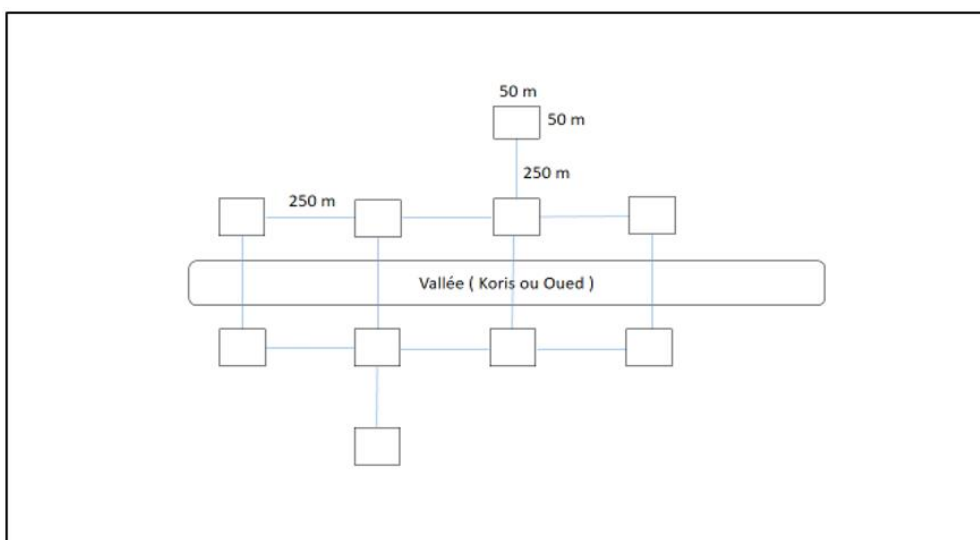


Fig. 2. Dispositif d'échantillonnage

2.2.3 INVENTAIRE À L'INTÉRIEUR DES PLACETTES

L'inventaire est fait dans les placettes de 50 m x 50 m (2500 m²) placées sur les transects pour enregistrer le maximum d'information. À l'intérieur de chaque placette, toutes les espèces ligneuses ont été inventoriées de façon systématique.

Les mesures sur les variables dendrométries ont portées sur toutes les espèces ligneuses à savoir:

- La hauteur totale de la plus grande tige pour les espèces multicaules et la hauteur tout simplement pour les espèces unicaules;
- Pour les individus de *p. Dactylifera* le diamètre est mesuré lorsqu'il a un tronc dégagé avec une hauteur supérieure ou égale deux (2) mètres
- Le comptage des rejets à l'intérieur de chaque placette a concerné les individus dont leurs diamètres sont inférieurs à 2 cm

2.3 ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Toutes les données recueillies ont été dépouillées, puis saisies et traitées à l'aide du tableur Excel (version 2013), qui a également servi au calcul des divers paramètres pour la caractérisation de la végétation de différents sites et à l'élaboration des graphiques. En plus le logiciel **R Studio** a été utilisé pour l'individualisation des groupes en fonction de ces paramètres: densité; recouvrement moyen et surface terrière entre les différents sites prospectés et le logiciel Minitab pour la caractérisation des paramètres dendrométriques.

Les formules ci-après ont été utilisées pour calculer ces paramètres.

2.4 PARAMÈTRES À CALCULER

2.4.1 RICHESSE FLORISTIQUE

La richesse floristique est évaluée à partir de l'effectif des familles, des espèces inventoriées. Ainsi tous les individus qui sont recensés lors de l'inventaire sont regroupés par famille, genre et espèce.

2.4.2 L'INDICE DE DIVERSITÉ DE SHANNON WEAVER (H')

La richesse spécifique seulement, qui est le nombre total d'espèces que comporte un peuplement, n'est pas un indicateur suffisant pour comparer la diversité spécifique de deux peuplements. C'est à cet effet, que l'indice de diversité de Shannon a été calculé. Celui-ci prend non seulement en compte la richesse spécifique mais aussi l'abondance de chaque espèce et est indépendant de la taille de l'échantillon [15]. Cet indice convient bien à l'étude comparative des peuplements parce qu'il est relativement indépendant de la taille de l'échantillon [15].

L'indice de Shannon est exprimé en bits, est donné par l'équation suivante:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

Avec :

S = nombre total d'espèces

$p_i = (n_i/N)$, fréquence relative de l'espèce

n_i = fréquence relative de l'espèce i dans l'unité d'échantillonnage

N = somme des fréquences relatives spécifiques

Plus l'indice est élevé, plus la diversité est grande [16].

Son échelle est faible si $H' < 3$ bits, moyenne $3 < H' < 4$ et élevée si $H' \geq 4$ bits. Le milieu est peu diversifié quand H' est faible et relativement diversifié en espèces quand H' est fort [17].

Cet indice est d'autant plus petit (proche de 0) que le nombre d'espèces est faible et que quelques espèces dominent.

2.4.3 L'INDICE DE RÉGULARITÉ OU D'ÉQUITABILITÉ DE PIELOU

Pielou a une valeur qui varie de 0 à 1. Une valeur élevée de cet indice (proche de 1), indique que le peuplement est homogène, ou que les individus sont équitablement répartis entre les différentes espèces.

$$E = \frac{H'}{H_{\max}} \quad (2)$$

H' = indice de Shannon; $H_{\max} = \log_2 S$, S étant la richesse spécifique totale.

L'équitabilité est faible lorsque $E < 0,6$; moyenne quand $0,6 < E < 0,8$ et élevée si $E \geq 0,8$.

2.4.4 RECOUVREMENT

Le couvert ligneux est la surface de la couronne de l'arbre projetée verticalement au sol (Ngom et *al.*, 2018).

Le recouvrement (R) est calculé par:

$$R(\%) = \frac{Sh}{Ss} * 100 \quad (3)$$

avec R = le taux de recouvrement exprimé en (%); Sh = Surface du houppier = $\pi (Dmh/2)^2$; Ss = Surface d'inventaire et Dmh = diamètre moyen du houppier [18]

Avec R le couvrement ligneux; dmh le diamètre moyen de la couronne et SE la surface de l'échantillon en ha.

2.4.5 SURFACE TERRIÈRE

La surface terrière ou recouvrement basal désigne la surface de l'arbre évaluée à la base (à 1.30m) du tronc de l'arbre [15]

Elle est exprimé m^2/ha et obtenue par la formule suivante:

$$G = \frac{\pi}{4 s} \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (4)$$

d_i^2 = diamètre (en cm) de l'arbre i de la placette considérée; s = superficie en [19].

2.4.6 CONTRIBUTION EN SURFACE TERRIÈRE (Cs, EN POURCENTAGE)

C'est la part de l'espèce dans la surface terrière globale de la placette; elle donne une idée de l'importance quantitative de l'espèce dans le peuplement [19]. Elle se calcule suivant l'équation :

$$Cs = Gp * 100 / G \quad (5)$$

Gp = surface terrière des arbres de l'espèce considérée et; G = surface terrière de l'ensemble des arbres de la placette.

2.4.7 DENSITÉ OBSERVÉE

La densité est le nombre d'individus par unité de surface. Elle s'exprime en nombre individus/ha. Elle est obtenue par le rapport de l'effectif total des individus dans l'échantillon par la surface échantillonnée [15]:

$$Dob. = \frac{N}{S} \quad (6)$$

Avec Dob = Densité observée N = effectif total d'individus dans l'échantillon considéré et s = surface de l'échantillon en ha. Pour établir le lien entre les données d'enquêtes et les relevés, le nombre de pieds par hectare de *P. dactylifera* L., nous avons procédé par des enquêtes sur cette dernière (voir annexe 3 de producteur).

Noté bien que le recouvrement (R%), la surface terrière (G) et la densité moyen ont été calculés pour l'ensemble des relèves de végétation et encore pour chaque site (village) suivant leurs formules prêt citées ci-dessus.

2.4.8 TAUX DE RÉGÉNÉRATION

Le taux de régénération naturelle est le rapport entre l'effectif total des jeunes plants et l'effectif de population multiplié par 100. La régénération naturelle est à la base de la compréhension de la dynamique de la végétation ligneuse. Elle peut être végétative ou par semis naturel. Elle passe par le recrutement, la mortalité juvénile et les différents stades de développement, puis la survie [15].

$$\text{Taux} = \frac{\text{Effectif total des jeunes plants}}{\text{Effectif de la population}} * 100 \quad (7)$$

2.4.9 HAUTEUR DE LOREY

La hauteur de Lorey est la hauteur moyenne des arbres de toutes les espèces pondérées de leur surface terrière [16], elle s'exprime en m.

$$HL = \frac{\sum_{i=1}^n g_i h_i}{\sum_{i=1}^n g_i} \quad \text{Avec} \quad g_i = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (8)$$

Où g_i est la surface terrière de l'arbre i et h sa hauteur totale en m.

2.4.10 INDICE DE VALEUR D'IMPORTANCE (IVI)

L'indice de valeur d'importance des espèces (IVI) caractérise la place qu'occupe, au sein d'une végétation, chaque espèce par rapport à l'ensemble des autres espèces [20]. Il s'agit d'un indice caractéristique de l'importance de chaque espèce au sein d'un Biotop. Cet indice est calculé par:

$$IVI = FR + DoR + DeR. \quad (9)$$

Ou FR, DoR et DeR désignent respectivement la fréquence relative, la dominance relative et la densité relative de chaque espèce [21]. Cet indice a été calculé en considérant chacun des trois paramètres dendrométriques (Diamètre; Houppier et densité) pour chacun de des espèces dans le but de déterminer celles qui sont prépondérantes.

2.4.11 ANALYSE DE LA STRUCTURE DÉMOGRAPHIQUE

La distribution de Weibull à 3 paramètres (a, b et c) se caractérise par une grande souplesse d'emploi et une grande variabilité de forme. Sa fonction de densité de probabilité, $f(x)$ se présente sous la forme ci-dessous [22].

$$f(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} \exp \left[- \left(\frac{x-a}{b} \right)^c \right] \quad (10)$$

Où x est le diamètre (circonférence) ou la hauteur des arbres et $f(x)$ sa valeur de densité de probabilité.

a = est le paramètre de position

b = est le paramètre d'échelle ou de taille

c = est le paramètre de forme lié à la structure observée

La distribution de Weibull peut prendre plusieurs formes selon la valeur du paramètre de forme c (Tableau 5)

L'analyse de la structure démographique de Weibull par classe de diamètre et hauteur des arbres a été réalisée pour élucider la structure diamétrique et de hauteur à travers le logiciel MINITAB 14.

Tableau 1. Répartition administrative des communes et des villages échantillonnés

$C < 1$	Distribution en « J renversé », caractéristique des peuplements multispécifiques ou inéquiennes.
$C = 1$	Distribution exponentiellement décroissante, caractéristique des populations en extinction.
$1 < C < 3,6$	Distribution asymétrique positive ou asymétrique droite, caractéristique des peuplements monospécifiques avec prédominance d'individus jeunes ou de faible diamètre.
$C = 3,6$	Distribution symétrique; structure normale, caractéristique des peuplements équiennes ou monospécifiques de même cohorte.

3 RÉSULTATS

3.1 COMPOSITION FLORISTIQUE

Dans les palmeraies, sur l'ensemble de 89 relevés effectués au cours de cette étude, 2943 individus ont été recensés appartenant à 25 espèces ligneuses regroupées en 22 genres et 15 familles (voir l'annexe 1). Les familles les plus représentées sont les Mimosaceae (28% avec 7 espèces) suivi des Arecaceae; des Capparaceae; des Myrtaceae et des Rutaceae dont chaque famille représente 8% avec 2 espèces chacune puis les autres familles représentées par une seule espèce chacune, formant 40% (Figure 3). Dans les palmeraies de la zone d'étude, la flore présente une richesse en espèces ligneuses avec des fréquences variables suivant les sites. Les nombres d'espèces de chaque site sont consignés dans le tableau à l'annexe 2.

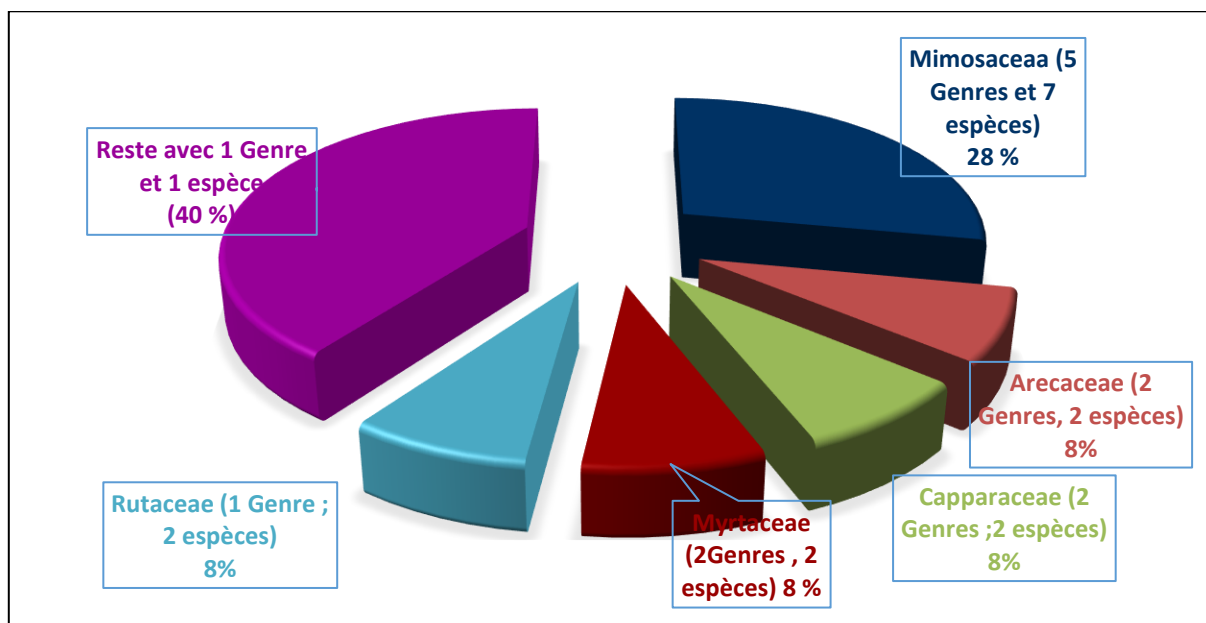


Fig. 3. Pourcentage des familles botaniques du peuplement ligneux

3.2 DIVERSITÉ SPÉCIFIQUE

En tenant compte de ce paramètre, les palmeraies de l'ensemble de la zone d'étude sont faiblement diversifiées. De ce fait l'indice de diversité de Shannon pour l'ensemble de la zone d'étude est de 1,7 bit et l'équitabilité de Pielou est de 0,1. Ainsi l'analyse du graphe ci-dessous (figure 4) nous ressort que les sites d'Egandawel; de Tabelot et de Tamanit ont une diversité spécifique supérieure à celle des autres. Elle est de 2,3 bits; 2,1 bits et 1,9 bits respectivement à Egandawel; Tabelot; Tamanit et une équitabilité de Pielou de 0,3 pour chacun. Cette valeur de l'équitabilité de piélou très proche de zéro indique qu'il y a une forte dominance de *P. dactylifera* pour tous les sites. L'indice de Shannon, l'équitabilité de Pielou et la richesse spécifique calculée dans chaque site sont présentés dans un tableau à l'annexe 3.

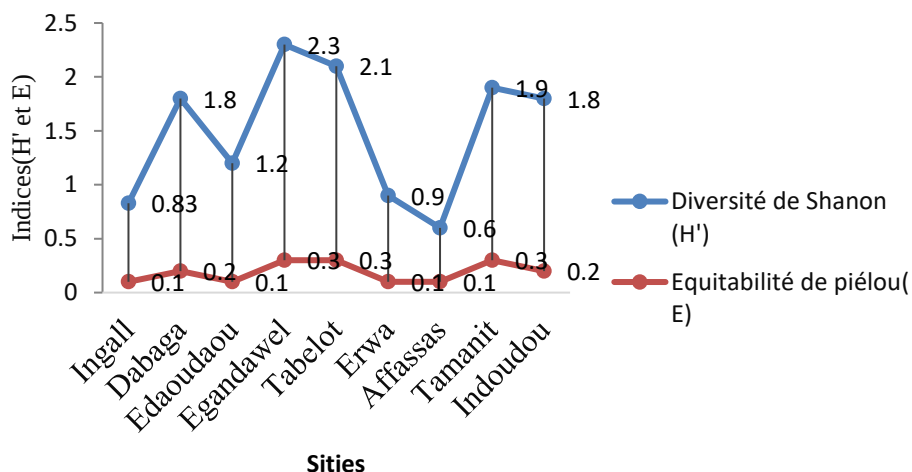


Fig. 4. Représentation graphique de l'indice de Shannon et l'équitabilité de Pielou

3.3 PARAMÈTRES DENDROMÉTRIQUE

Les analyses des données des relevés dendrométriques réalisés dans les différents sites ont permis de calculer les paramètres structuraux de la végétation ligneuse des palmeraies dans la région d'Agadez. Les résultats sont consignés dans un tableau à l'annexe 4.

L'analyse des moyennes du recouvrement et de la surface terrière montre que le recouvrement moyen de *P. dactylifera* varie entre les sites de 0,23% à 0,08% et quant à la moyenne de la surface terrière, elle varie aussi de 0,16 m²/ha à 0,04 m²/ha.

Ainsi l'analyse de la figure 5 a ressorti trois (3) groupes des sites en fonction de leur similarité de valeur par l'analyse hiérarchique ascendante (CHA).

En effet, le groupe (G1) est le moins important en termes de densité, recouvrement et surface terrière.

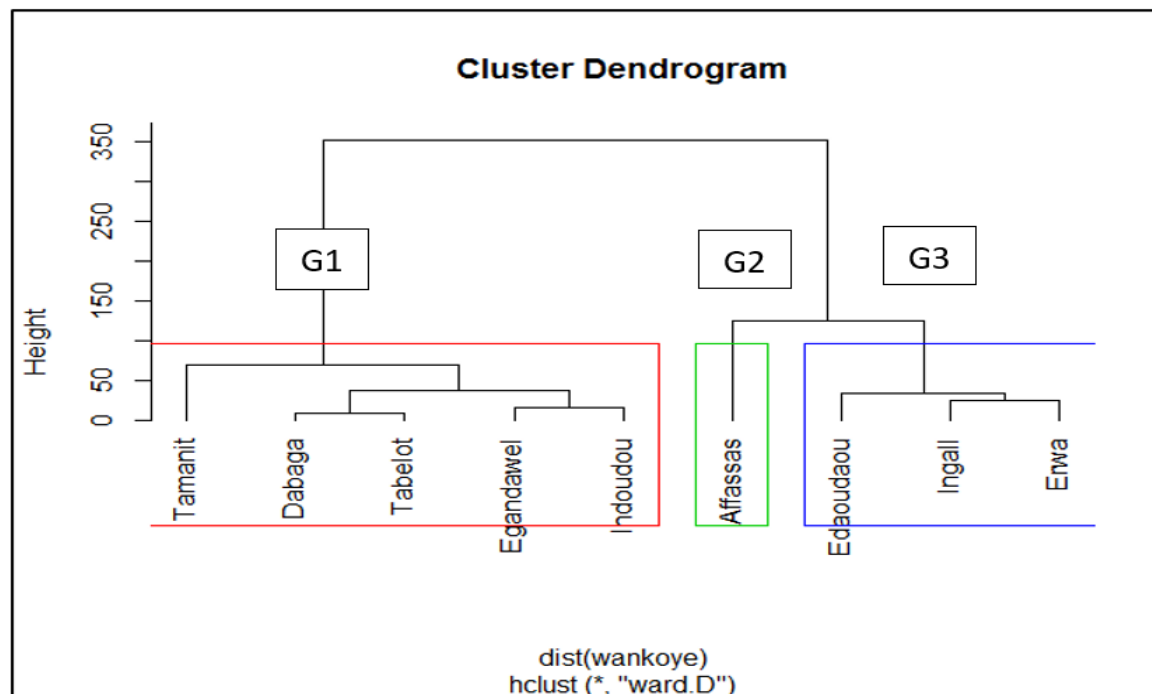


Fig. 5. Groupement des sites en fonction des paramètres dendrométriques

3.3.1 DENSITÉ

Au sein du groupe G1 la densité de *P. dactylifera* croit de 36,86 pieds/ha à 80 pieds/ha. Aussi la densité de toutes espèces cumulées varie de 91,11 à 137,6 pieds/ha. Quant au G2, il est le groupe qui présente la plus grande densité. Ainsi la densité de *P. dactylifera* est de 194,77 pieds/ha. Pour toutes les espèces cumulées elle est 209,23 pieds/ha.

Le troisième groupe (G3) est le groupe moyennement dense après le G2. La densité de *P. dactylifera* varie de 117,67 pieds/ha à 147,5 pied/ha. Quant à la densité de toutes espèces confondues, elle varie aussi de 144 pieds/ha et 166 pieds/ha.

3.3.2 SURFACE TERRIÈRE ET RECOUVREMENT

En ce qui concerne le recouvrement de *P. dactylifera* du groupe (G1), il varie entre 7,33 % et 17,12 %. Il varie toujours pour toutes espèces de 23,99 % à 35,4 %. Quant à la surface terrière de *P. dactylifera* elle varie entre les sites de 4,05 m²/ha à 21,74 m²/ha contre 7,86 m²/ha à 18,4 m²/ha de toutes espèces cumulées. Le recouvrement de *P. dactylifera* du deuxième groupe (G2) est de 55,65 % contre 67,1% de toutes espèces confondues. Pour la surface terrière de *P. dactylifera*, elle est de 31,7 m²/ha et 36,1 m²/ha pour toutes espèces cumulées. Quant au troisième groupe le recouvrement de *P. dactylifera* varie entre les trois sites de 26,8% et 32,45%. Ainsi pour toutes espèces cumulées ce recouvrement varie entre 35,35% à 48,1% Pour la surface terrière de *P. dactylifera* de ces trois sites, elle varie de 15,5 m²/ha à 16,75 m²/ha. Elle varie aussi de 17,1m²/ha à 24,93 m²/ha pour toute espèces confondues.

Tableau 2. Test de variance

Paramètres \ Sites	Densité	Surface terrière	Recouvrement
A	109,86±42,1a	12,92±5,67a	25,1±8,97a
B	76,84±46,06b	8,7±5,99b	16,05±9,89b
C	108,18±76,49a	16,66±13,58a	28,05±24,08a
P-value	0,738	0,597	0,65

Légende: A: Ingall, Dabaga et Edaoudaou; B: Egandawel, Tabelot et Erwa; C: Affassas, Tamanit et Indoudou.

L’analyse du tableau 7 ci-dessus ressort les valeurs de test de variance réalisé entre les densités, les surfaces terrières et les recouvrements des différents sites. Ainsi ces trois paramètres ont une valeur de P-value supérieure à 0,05 ($P > 0.05$) respectivement de 0,738; 0,597 et 0,65. Une P-value qui montre qu’il n’y a pas une différence statistiquement significative entre les moyennes et l’écartypes de ces trois (3) paramètres des A et C qui diffèrent de site C.

3.3.3 TAUX DE RÉGÉNÉRATION

Dans les palmeraies les taux de régénération par semis (semis de graine et transplantation) et par souche (rejet à la base) ont été analysés (Figure 6). Ainsi l’analyse des taux de régénérations par souche de *P. dactylifera* L. de tous les sites échantillonnés sont strictement supérieurs aux taux des semis, excepté le site d’Ingall. Ces pourcentages élevés de taux de régénération dans les sites, relèvent premièrement que l’espèce *P. dactylifera* L. a un grand pouvoir de régénération par souche. Secondairement, il montre aussi qu’il y a un faible taux de régénération par semis et un quasi absent bouturage. De façon exceptionnelle, ce graphique montre également que le taux de régénération par semis est plus élevé à Ingall avec 54% contre 25% par souche. Ainsi cette exception de dominance de taux de régénération par semis s’explique par une pratique de bouturage à Ingall. A Affassas les semis sont dominés par les pousses naturelles et cela s’explique par le fait que le kori (vallée) est peu profond avec un écoulement lent sans déterrer les jeunes pousses dont le taux régénération est de 31% de semis contre 82% de rejet par souche. Quant au site d’Egandawel ce taux est de 29% par semis contre 74% par souche. Dans les palmeraies d’Egandawel et les autres villages la régénération se caractérise par beaucoup de semis.

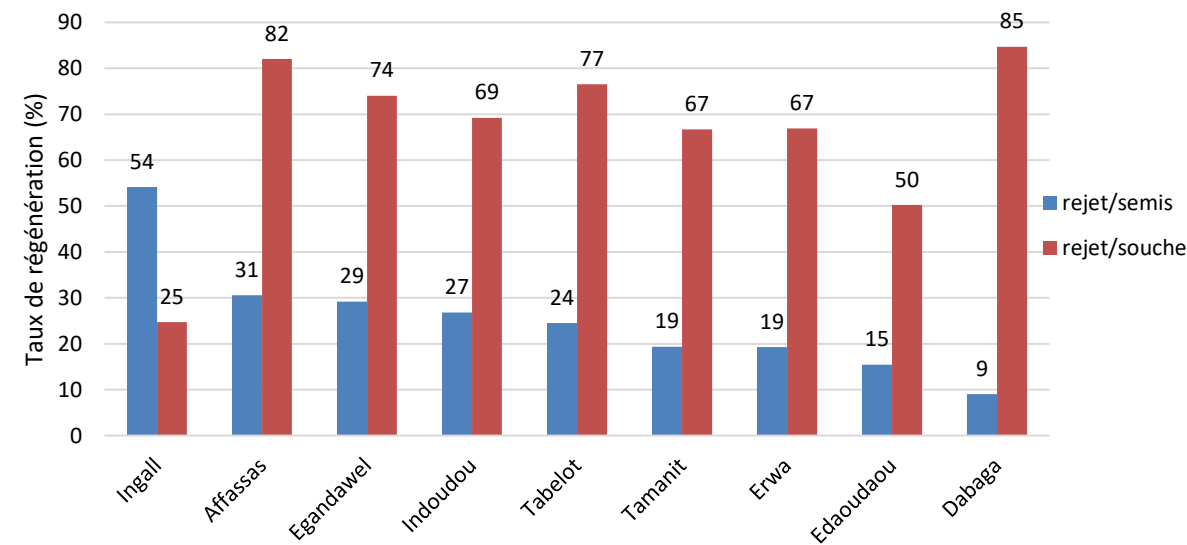


Fig. 6. Taux de régénération de *P. dactylifera*

3.3.4 INDICE DES VALEURS D’IMPORTANCES (IVI)

Il ressort de l’analyse d’indice des valeurs d’importances que l’espèce la plus écologiquement représentée dans l’ensemble des relevés effectués est *Phoenix dactylifera* suivie de *Hypheane thebaica*; *Prosopis juliflora*; *Acacia raddiana*; *Citrus sinensis* et *Citrus limon* avec des valeurs respectives 230,15; 26,33; 10,59; 6,21; 5,91 et 5,74 (Tableau 3). En effet, ce sont ces six espèces ligneuses qui sont les plus rencontrées dans toutes les palmeraies prospectées de la zone d’étude. Les valeurs de toutes les espèces recensées sont présentées dans un tableau (voir l’annexe 5).

Tableau 3. Indice de valeur d'importance (IVI)

Espèces	Fr-relative	Fr-Dominance-basale	Fr-Dominance-relative	IVI
<i>Phoenix dactylifera</i> L.	72,2392117	87,7115659	70,2023588	230,153
<i>Hypheane thebaica</i> (Mart)	10,1936799	4,66505819	11,4752263	26,334
<i>Prosopis juliflora</i> (Swartz)	4,5191981	0,90830783	5,16462558	10,592
<i>Acacia raddiana</i> (Forsk) Hayne	1,76690452	1,29119072	3,16025478	6,218
<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	3,02412504	0,51273105	2,38065498	5,918
<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck	1,49507305	2,88811539	1,36125685	5,744

3.3.5 HAUTEUR DE LOREY

La hauteur de Lorey de l'espèce *P. dactylifera* de chaque site a été calculée et consignée dans le tableau 4. Ainsi il ressort de l'analyse de ce tableau que le site qui possède une hauteur de Lorey la plus représentée est celui d'Edaoudaou suivie d'Affassas et Dabaga. Quant à Ingall et Egandawel, ces deux sites présentent une faible hauteur de Lorey par rapport aux autres sites. Cela est lié au fait que dans ces deux sites il y a beaucoup de jeunes individus de *P. dactylifera*.

Tableau 4. Hauteur de Lorey du peuplement à *P. dactylifera* de chaque site prospecté

Site	Ingall	Dabaga	Edaoudaou	Egandawel	Tabelot	Erwa	Affassas	Tamanit	Indoudou
Hauteur de Lorey (m)	7,73	9,14	10,4	7,72	8,34	8,24	9,94	8,84	8,38

Toutefois l'analyse de test de variance de la moyenne et l'écartype de la Hauteur de Lorey (tableau 5 ci-dessous) a montré une P-value de 0,387 > 0,05. Une P-value qui montre qu'il n'y a pas une différence statistiquement significative entre les valeurs de la Hauteur de Lorey des différents sites.

Tableau 5. Test de variance de la Hauteur de Lorey

Site	HL (m)
A	9,1±1,3a
B	8,1±0,3a
C	9,1±0,8a
P-value	0,387

Légende: a: Ingall, Dabaga et Edaoudaou; b: Egandawel, Tabelot et Erwa; c: Affassas, Tamanit et Indoudou.

3.3.6 STRUCTURE DÉMOGRAPHIQUE

La distribution en classe hauteur a été déterminée pour comprendre la dynamique et évaluer l'impact de la pression anthropique sur la population de *P. dactylifera* qui est plus importante dans la zone d'étude.

La structure en classe de hauteur a été construite par une amplitude de variation régulière 3 m entre ces deux différentes classes.

Structure en classe de hauteur

La distribution des palmiers dattiers selon la hauteur des individus recensés est comprise entre 3 à 21m. La distribution en classe de hauteur montre une structure semblable à celle de diamètre. Ainsi les individus les plus représentés sont de hauteurs comprises dans la classe de [9-12 [suivi de ceux de la classe de [6-9 [. Cette distribution modélisée par la distribution théorique de Weibull avec un paramètre de forme $c=2,38$ révélant que de la population de *P. dactylifera* a une caractéristique des populations avec prédominance d'individus jeunes (figure 7).

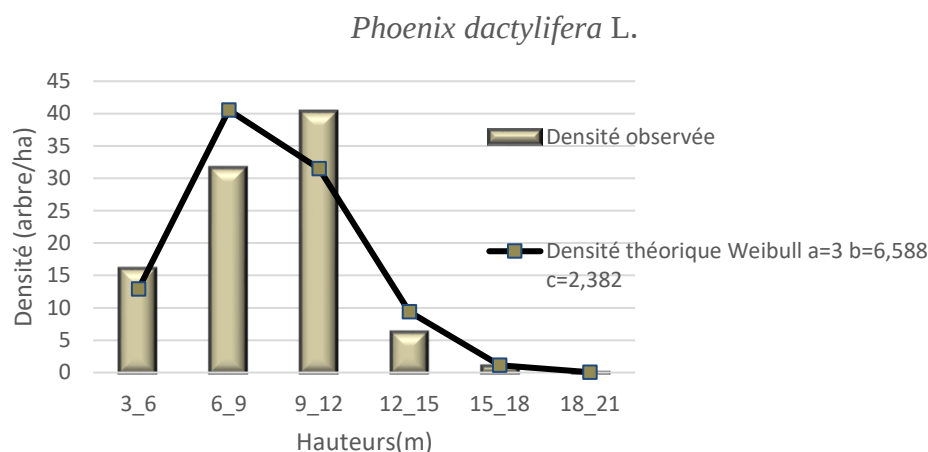


Fig. 7. Structure en classe de hauteur de *P. dactylifera*

3.4 RÉPARTITION PAR SEXE

Le graphe (Figure 8) a été établi en fonction de nombre des pieds mâles et des pieds femelles sur les 2026 pieds de palmier dattier recensés dans l'ensemble de la zone d'étude. L'analyse de cette figure montre une prédominance d'individus femelles avec 96% de pieds femelles soit 24 pieds femelles pour un pied mâle. En effet, cette faible proportion (4%) des pieds mâles peut expliquer le recourt à la fécondation artificielle (anthropochorie) dans la zone.

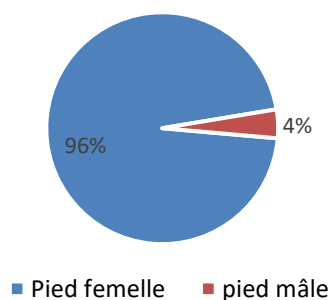


Fig. 8. Répartition des pieds de *P. dactylifera* en fonction du sexe

3.5 DISCUSSION

3.5.1 COMPOSITION FLORISTIQUE DES PALMERAIES

La flore d'un milieu est l'énumération et la description de toutes les espèces qui y croissent [15]. Dans les palmeraies de la zone d'étude, la flore est riche de 25 espèces ligneuses regroupées en 22 genres et 15 familles. Les familles les plus représentées sont les Mimosaceae (28% avec 7 espèces) suivi des Arecaceae, des Capparaceae, des Myrtaceae et Rutaceae avec 8% et 2 espèces chacune. Cette composition floristique est supérieurs à celle trouvée par d'autres chercheurs ayant travaillé sur deux sites dans la même région d'Agadez, Ikirkiwi et Tassack n'talam [23]. Cette diversité spécifique peut être liée d'une part au système agroforestier et d'autre part à la superficie d'inventaire parcourus.

3.5.2 LA DIVERSITÉ DANS LES PALMERAIES

L'analyse de la diversité spécifique qui prend non seulement en compte la richesse spécifique mais aussi l'abondance de chaque espèce est indépendant de la taille de l'échantillon. Considérant ce paramètre, les palmeraies de la région d'Agadez

qui sont des systèmes agroforestiers sont faiblement diversifiées. Cette faible diversité pourrait être due que dans les palmeraies il y a moins espèces agroforestières qui, sont des fois en compétition avec le maraichage. Ces résultats sont accords avec ceux trouvés par [24] dans la région de Tahoua.

Quant aux autres paramètres tels que la densité, le recouvrement, la surface terrière ils sont très importants dans les palmeraies de la zone d'étude. Ainsi, ils sont plus élevés à Affassas, Ingall, Erwa et Edaoudaou que les autres villages. Ces résultats sont semblables à ceux trouvés par [15] dans les parcs agroforestiers d'*Elaeis guineensis* Jacq. (palmier à huile) en Basse Casamance, Sénégal et à ceux obtenus sur *Borassus aethiopum* au Bénin par [25]. Néanmoins les taux de régénérations sont plus importants à Ingall suivi d'Affassas et d'Egandawel que les autres sites. Quant à la structure démographique, la population de *P. dactylifera* est caractérisée des individus jeunes à faible hauteur. Ces résultats obtenus sur structure de population de *P. dactylifera* sont semblables à ceux trouvés sur *Borassus aethiopum* au Bénin par [25] avec un paramètre forme $1 < C < 3,6$ constituant un bon indicateur dans le renouvellement de la population.

3.5.3 TAUX DE RÉGÉNÉRATION

L'analyse des taux de régénérations par souche de *P. dactylifera* L. de tous les sites échantillonnés sont strictement supérieurs aux taux de régénérations de semis, excepté le site d'Ingall. Ces pourcentages élevés de taux de régénération dans les sites, relèvent que l'espèce *P. dactylifera* L. a un grand pouvoir de régénération par souche. Cette exception explique qu'Ingall a une vocation de l'arboriculture différente des autres villages qui visent les intérêts écologiques de dattier pour la culture maraichère (Brise vent, contre les érosions et pour retenir l'humidité par son ombrage constant). Cette supériorité de taux de régénération par souche par rapport à celui de semis est confirmé par ceux ayant trouvé par [26] dans les parcs à *Neocarya macrophylla* et à *Vitellaria paradoxa* dans le sud-ouest nigérien.

4 CONCLUSION, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis une meilleure connaissance de la composition floristique, de la structure de population *P. dactylifera* et ses caractéristiques écologiques. L'analyse de la composition floristique a montré que la famille de l'espèce *P. dactylifera* (Arecaceae) est la plus représentée de l'ensemble de la zone d'étude après les Mimosaceae. Elle est aussi écologiquement la plus importante après les arecaceae. Il ressort également de l'analyse de la diversité que les palmeraies sont faiblement diversifiées avec un indice de Shannon Weaver $H=1.7$ bits et une équitabilité de Pielou de 0.1.

REFERENCES

- [1] Banque Mondiale, (2013). Evaluation des risques du secteur agricole au Niger: De la Réaction Aux Crises à La Gestion des Risques à Long Terme. Rapport d'étude, 96p. <http://www.elevage.gouv.ne/IMG/pdf/niger-risk-assessment-french.pdf>.
- [2] C. DARDEL (2014). Entre désertification et reverdissement du Sahel: Diagnostic des observations spatiales et in situ. Doctorat de l'université de Toulouse. 182p+annexes.
- [3] M. Jahiel, (1996). Dans Ghali A., Alanga I., Laurent J., Jean-Baptiste. Etudes de la problématique oasienne au Niger. Association pour la réhabilitation des palmeraies au Niger.
- [4] C. Pintaud, (2008). Biotechnologies du palmier dattier actes du 3e séminaire du réseau AUF-BIOVEG, Montpellier (France), 18-20 novembre 2008 par Frédérique Aberlenc-Bertossi.
- [5] O. Zango, (2016). Agro biodiversité et élaboration d'un modèle architectural du palmier dattier au Sahel: cas du Niger. Thèse de Doctorat en Ecologie Fonctionnelle et Sciences Agronomiques, Université de Montpellier et Université Abdou Moumouni de Niamey 203p.
- [6] FAO, (2021). Proposition relative à la célébration d'une année internationale du palmier dattier.
- [7] A Maiga., (2010). Synthèse des résultats de travaux de recherche sur le palmier dattier au Mali par p 33-44. Biotechnologies du palmier dattier. IRD Editions 2010.
- [8] P. Munier, (1973). Origine de la culture du palmier dattier-dayttier et sa propagation en Afrique. Notes historique sur les principales palmeraies africaines. Fruits. Vol (36) p140-141.
- [9] N. Garomouche, et Boutali A., (2009). situation de dattes en Algérie. Technologie alimentaire et nutrition humaine. Institut national agronomique El Harrach-Alger-.
- [10] O. Zango, Rey, H., Bakasso, Y., Lecoustre, R., Aberlenc, F. and Pintaud, J., (2016). Local Practices and Knowledge Associated with Date Palm Cultivation in Southeastern Niger. Agricultural Sciences, 7, 586-603. doi: 10.4236/as.2016.79056.
- [11] F. Bezato, (2013). Les palmiers dattiers « *Phoenix dactylifera* » à Toliara: étude de la filière, utilisation et diversité variétale. Mémoire de diplôme d'études approfondies (DEA) en biodiversité et environnement option: biologie végétale, université de Toliara. 77p.

- [12] books.openedition.org/ irdeditions, consulté le 27-05-2021.
- [13] Plan de Développement Communal 2013_2017: Commune Urbaine de Tchirozériene.
- [14] Monographie de la commune rurale d'Ingall p14-15.
- [15] D. Ngom, Camara B., Sagna B., et Gomis Z., (2018). Cortège floristique, paramètres structuraux et indicateurs d'anthropisation des parcs agroforestiers à *Elaeis guineensis* Jacq. en Basse Casamance, Sénégal.vol.36. Université Cheikh Anta- Diop et Université Assane SECK de Ziguinchor. <http://www.m.elewa.org/JAPS>.
- [16] SUN (2008). Méthode d'étude et analyse de la flore et de la végétation tropicale. Actes de l'atelier sur l'harmonisation des méthodes. Niamey du 4 au 9 août 2008.
- [17] J. Djego, Gibigaye M., Tenteb., Et Sinsin B., (2012). Analyses écologique et structurale de la forêt communautaire de Kaodji au Bénin.
- [18] M. Abdourhaman, (2010). Détermination du sexe chez le palmier dattier: Approches histo-cytologique et moléculaires. Thèse de doctorat discipline: Biologie cellulaire et moléculaire. Formation doctorale: Biologie, Diversité et Adaptation des plantes, Ecole Doctorale: Biologie Intégrative. 146p.
- [19] M. Inoussa, (2011): Dynamique des forêts claires dans le parc National W du Niger.Thèse de doctorat: spécialité en Biologie et Ecologie Végétales de l'Université Abdou Moumouni de Niamey.
- [20] Y. Soro, Ouattara D., Missa K., Bakayoko A., (2019). Analyse de la diversité Floristique de Quelques îles aménagés du Barrage de Buyo (Côte d'ivoire).
- [21] A. Gboze, Sanogo A., Amani B. et N'Djaj K., (2020). Diversité floristique et valeur de conservation de la forêt classée de Badenou (Korhogo, côte d'ivoire), 73p.
- [22] A. Maïga, Ti., Maïga A., Sénou O., Keïta M., Coulibaly D., Yossi H., Maïga M., (2020). Comportement de quatre variétés de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) dans les conditions agro-climatiques du cercle de Yélimané en zone sahélienne dans la région de Kayes au Mali. <https://hdl.handle.net/11250/2687904>.
- [23] M. Chaibou, Faye B., Ali M. et Vias G. (2012): Evaluation du potentiel fourrager aérien du bassin laitier d'Agadez au Niger en Afrique de l'Ouest. 12p. <http://www.slire.net>.
- [24] A. Garba, Djima I. Abdou L., Mahamane A., (2017). Caractérisations de la vegetation ligneuse du bassin versant de la Maggia dans la commune rurale de Bagaroua (région de Tahoua). Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques et Université de Diffa, Faculté des Sciences Agronomiques, laboratoire Garba Mounkaïla.
- [25] F. Gbesso, Yedomonhan H., Tente B., Akoegninou A., (2014). Distribution géographique des populations de rôniers (*Borassus aethiopum* Mart, Arecaceae) et caractérisation phytoécologique de leurs habitats dans la zone soudano-guinéenne du Benin p6099-6111.
- [26] I. Dan Guimbo, Mahamane A Et Ambouta K., Peuplement des parcs à *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance et à *Vitellaria paradoxa* (Gaertn. C.F.) dans le sud-ouest nigérien: diversité, structure et régénération. Faculté d'Agronomie et Faculté des Sciences de l'Université Abdou Moumouni. (2010).

ANNEXE 1: TABLEAU DES FRÉQUENCES DES ESPÈCES LIGNEUSES RECENSÉES DANS CHAQUE SITE

Espèces	Nombre d'espèce								
	Ingall	Dabaga	Edaoudaou	Egandawel	Tabelot	Erwa	Affassas	Tamanit	Indoudou
<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. Ex Delile	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Acacia radiana</i> Savi	0	0	0	6	27	1	4	3	7
<i>Acacia senegal</i> (L.) Willd	0	0	0	3	0	0	0	0	0
<i>Adansonia digitata</i> L.	0	0	1	0	1	0	0	0	0
<i>Albizia julibrissin</i>	0	12	5	0	0	0	0	1	0
<i>Azadirachta indica</i>	2	2	19	0	0	0	0	0	1
<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Del.	0	0	0	2	0	0	0	3	1
<i>Boscia senegalensis</i> (Pers.)	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<i>Calotropis procera</i> (Ait.) Ait.f.	8	2	12	7	2	0	0	0	1
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	0	1	0	4	0	0	0	0	0
<i>Citrus limon</i> (L.) Burm.f.	1	12	9	3	7	0	4	0	8
<i>Citrus sinensis</i> (L.)	0	1	0	8	20	0	16	44	0
<i>Ecaluptus camaldulensis</i>	0	0	0	0	1	0	3	5	0
<i>Faidherbia albida</i> (Delile) A.Chev.	1	0	0	0	0	0	0	3	0
<i>Ficus gnaphalocarpa</i> (Miq.) Steud.ex A. Rich.	0	2	0	0	1	0	5	2	0
<i>Hypheane thebaica</i> (L.) Mart	7	29	14	129	19	40	0	0	59
<i>Maerua crassifolia</i>	1	1	0	0	2	0	0	0	0
<i>Mangifera indica</i> A. Juss.	0	1	0	0	8	0	2	2	0
<i>Parkinsonia aculeata</i> L.	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Phoenix dactylifera</i> L.	295	161	353	97	216	159	633	100	112
<i>prosopis juliflora</i>	5	4	10	74	19	3	2	1	15
<i>Psidium guajava</i> L.	0	2	0	0	2	0	1	1	0
<i>Punica granatum</i>	0	0	0	0	0	0	4	5	0
<i>Salvadora persica</i>	1	0	0	3	5	0	0	0	0
<i>Ziziphus mauritiana</i> Lam.	6	11	8	5	4	0	2	2	1

ANNEXE 2: TABLEAU DES FAMILLES ET GENRE DES ESPÈCES

Famille	Genre	Espèces	Hausa	Zarma	Tamashek
Mimosaceae	Acacia	A. nilotica (L.) Willd. Ex Delile	bagarua	baani	tiggaert
		A. raddiana Savi			
		A. senegal (L.) Willd.	d'akwara	Danga	taazzet
	Faidherbia	F. albida (Delile) A.Chev.	gao	gao	
	Albizia	A. julibrissin			
	Prosopis	P. juliflora		maka bani	
	Parkinsonia	P. aculeata L.		Koo gna	
Bombacaceae	Adansonia	A. digitata L.	Kuka		
Arecaceae	Hypheane	H. thebaica (L.) Mart	Gorouba		
	Phoenix	P. dactylifera L.	dabino	dabina gna	
Capparaceae	Boscia	B. senegalensis (Pers.)	anza	orha, anza	taedaent
	Maerua	M. crassifolia	jiga		
Myrtaceae	Ecaluptus	E.camaldulensis	turarè	Touraré gna	
	Psidium	P. guajava L.	guway â	goyav-gna	
Rutaceae	Citrus	C. limon (L.) Burm.f.	lemun tsami	Lemou kéna	
		C. sinensis (L.)	lemun zatchi	Lemou béri	
Meliaceae	Azadirachta	A. indica A. Juss.	bedi	milli gna	
Balanitaceae	Balanites	B. aegyptiaca (L.) Del.	Abuwa	garbey	Taborak
Asclepiadaceae	Calotropis	C. procera (Ait.) Ait.f.	tumfafia	sagaye	toerzâ
Casuarinaceae	Casuarina	C. cunninghamiana			
Anacardiaceae	Mangifera	Mangifera indica	Mangro	mangu	
Punicaceae	Punica	Punica granatum L.		jernat	
Salvadoraceae	Salvador	Salvadora persica L.	talaekia	Firra	aebizgîn
Rhamnaceae	Ziziphus	Z. mauritiana Lam.	magaria	Darèy	Abâkât
Moraceae	Ficus	F. gnaphalocarpa (Miq.) Steud.ex A. Rich.	bawri	gaïgaï	ori bawrè

ANNEXE 3: TABLEAU DE L'INDICE DE DIVERSITÉ DE CHAQUE SITE

Villages	Diversité de Shannon (H')	Richesse spécifique (S)	Hmax	Equitabilité de piélou (E)
Ingall	0,83	332	8,38	0,1
Dabaga	1,8	240	7,91	0,2
Edaoudaou	1,2	432	8,8	0,1
Egandawel	2,3	342	8,4	0,3
Tabelot	2,1	335	8,4	0,3
Erwa	0,9	205	7,7	0,1
Affassas	0,6	680	9,4	0,1
Tamanit	1,9	172	7,4	0,3
Indoudou	1,8	205	7,7	0,2

ANNEXE 4: PARAMÈTRES D'DENDROMÉTRIQUES

Paramètres Sites	ΣSites	Ingall	Dabaga	Edaoudaou	Egandawel	Tabelot	Erwa	Affassas	Tamanit	Indoudou
Densité de <i>P. dactylifera</i> (pied/ha)	95,55	147,5	64,4	117,67	36,86	66,46	127,2	194,77	80	49,78
Densité de toutes les espèces (pied/ha),	132,27	166	96	144	97,7	103,07	164	209,23	137,6	91,11
Recouvrement de <i>P. dactylifera</i> (%)	38,4	27,75	15,11	32,45	7,33	14,03	26,8	55,65	17,12	11,37
Recouvrement moyen <i>P. dactylifera</i> (%) et Ecartype,	0,01 ±0,02	0,22 ±0,04	0,12 ±0,07	0,09 ±0,11	0,08 ±0,04	0,1 ±0,34	0,23 ±0,28	0,09 ±0,14	0,21 ±0,11	0,13 ±0,06
Recouvrement toutes les espèces (%)	153,62	35,35	28	38,2	31,8	23,99	48,1	67,1	35,4	26,6
Recouvrement moyen toutes les espèces (%) et Ecartype	0,05 ±0,07	0,11 ±0,06	0,12 ±0,07	0,09 ±0,1	0,09 ±0,07	0,1 ±0,23	0,23 ±0,23	0,1 ±0,16	0,21 ±0,12	0,13 ±0,07
Surface terrière de <i>P. dactylifera</i> (m ² /ha)	17,64	16,75	6,4	15,6	4,05	6,59	15,5	31,7	12,97	5,3
Moyenne et Ecartype de Surface terrière (m ² /ha) de <i>P. dactylifera</i>	0,01 ±0,01	0,06 ±0,03	0,05 ±0,02	0,04 ±0,01	0,04 ±0,02	0,05 ±0,02	0,13 ±0,04	0,05 ±0,02	0,16 ±0,08	0,06 ±0,02
Surface terrière toutes les espèces (m ² /ha)	18,27	19,21	11,6	17,1	7,86	12,2	24,93	36,1	18,4	8,6
Moyenne et Ecartype de Surface terrière toutes les espèces (m ² /ha)	0,01 ±0,02	0,06 ±0,03	0,05 ±0,11	0,04 ±0,02	0,02 ±0,02	0,04 ±0,03	0,12 ±0,04	0,05 ±0,04	0,11 ±0,09	0,04 ±0,03
Cs (%) de <i>P. dactylifera</i>	96,54	87,17	55,34	91,38	51,35	54,03	61,99	87,68	70,58	61,57

ANNEXE 5: TABLEAU D'INDICE DE VALEUR D'IMPORTANCE

Espèces	Fr-relative	Fr-Dominance-basale	Fr-Dominance-relative	IVI
<i>Phoenix dactylifera</i>	72,2392117	87,7115659	70,2023588	230,153
<i>Hypheane thebaica</i>	10,1936799	4,66505819	11,4752263	26,334
<i>prosopis juliflora</i>	4,5191981	0,90830783	5,16462558	10,592
<i>Acacia raddiana</i>	1,76690452	1,29119072	3,16025478	6,218
<i>Citrus sinensis</i>	3,02412504	0,51273105	2,38065498	5,918
<i>Citrus limon</i>	1,49507305	2,88811539	1,36125685	5,744
<i>Ziziphus mauritiana</i>	1,39313626	0,63668945	1,59714211	3,627
<i>Azadirachta indica</i>	0,81549439	0,23632723	0,64826819	1,700
<i>Calotropis procera</i>	1,08732586	0,07643646	0,38411078	1,548
<i>Mangifera indica</i>	0,44172613	0,11526623	0,50016898	1,057
<i>Ficus gnaphalocarpa</i>	0,33978933	0,12714077	0,54072838	1,008
<i>Albizia julibrissin</i>	0,6116208	0,10119489	0,26075143	0,974
<i>Salvadora persica</i>	0,3058104	0,07420404	0,52509257	0,905
<i>Ecaluptus camaldulensis</i>	0,33978933	0,12728327	0,35342252	0,820
<i>Casuarina cunninghamiana</i>	0,16989467	0,15961766	0,34825499	0,678
<i>Punica granatum</i>	0,37376826	0,03844978	0,15902681	0,571
<i>Balanites aegyptiaca</i>	0,2038736	0,05408856	0,25137637	0,509
<i>Faidherbia albida</i>	0,13591573	0,06380194	0,19540625	0,395
<i>Adansonia digitata</i>	0,06795787	0,16093573	0,11755564	0,346
<i>Acacia senegal</i>	0,13591573	0,02572027	0,12040812	0,282
<i>Psidium guajava</i>	0,13591573	0,00930964	0,08758395	0,233
<i>Maerua crassifolia</i>	0,1019368	0,01316887	0,11518776	0,230
<i>Parkinsonia aculeata</i>	0,03397893	0,00267177	0,03362571	0,070
<i>Acacia nilotica</i>	0,03397893	0,00029686	0,01469876	0,049
<i>Boscia senegalensis</i>	0,03397893	0,00042748	0,00281343	0,037

Etude des paragenèses minérales des roches vertes de la vallée de M'vunzi du Territoire de Seke-Banza (Province du Kongo Central, RD Congo)

[Study of the mineral parageneses of the green rocks of the M'vunzi valley of the Territory of Seke-Banza (Kongo Central Province, DR Congo)]

Patrick Mukonkole Mukonkole, Daddy Patrick Ilito Lofongo, Henock Tshombe Mbaya, Nebys Mupepe Ngayipa, Joël-André Opey Ambur, Olga Mukaka Kimwesa, and Anne-Marie Tshibwabwa Tshiswaka

Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), B.P.: 898, Kinshasa I, RD Congo

Copyright © 2023 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 traveling prospecting along the M'vunzi River has collected samples of the greenstone which have been the subject of macroscopic and microscopic observations of the thin sections made in the petrography laboratory. The present study has enabled us to identify in addition to the three types of rocks previously described by our predecessors, a fourth petrographic type which is a chloritoschist. In addition, two new minerals have been identified including «garnet» and «cordierite», respectively in an amphibolite and in a chloritoschist. The mineralogical paragenesis of the different petrographic types described to date in the M'vunzi valley composed of: epidote-chlorite-quartz, epidote-plagioclase-albite-chlorite-calcite, chlorite-biotite-quartz and chlorite-biotite-albite-quartz are typically secondary mineral paragenesis and indicate that all basic lavas in the study area were affected by regional greenschist facies metamorphism which is clearly justified by the appearance of chlorite in each mineralogical paragenesis. These results allowed us to deduce that the M'vunzi valley is lined with Gangila green rocks, the main ones being amphibolites, chloritoschists, micaschists and epidotites. It is therefore, for the most part, ancient basaltic lavas very rich in plagioclase which subsequently transformed into green rocks. The latter are the products due to the regional metamorphic gradient of Low Pressure and High Temperature (LP-HT).

KEYWORDS: Gondwana, Rodinia, Panafrican, metabasalt, amphibolite, epidotite.

RESUME: La prospection itinérante le long de la rivière M'vunzi ont permis de collecter des échantillons des roches vertes qui ont fait l'objet des observations macroscopiques et microscopiques des lames minces confectionner au laboratoire de pétrographie. La présente étude nous a permis d'identifier outre les trois types des roches précédemment décrites par nos prédécesseurs, un quatrième type pétrographique qui est un « chloritoschiste ». En plus, deux nouveaux minéraux ont été identifiés dont le « grenat » et la « cordiérite », respectivement dans une amphibolite et dans un chloritoschiste. Les paragenèses minéralogiques des différents types pétrographiques décrits à ce jour dans la vallée de M'vunzi composées de: épidote-chlorite-quartz, épidote-plagioclase-albite-chlorite-calcite, chlorite-biotite-quartz et chlorite-biotite-albite-quartz sont typiquement des paragenèses de minéraux secondaires et indiquent que toutes les laves basiques du secteur d'étude ont été affectées par le métamorphisme régional de greenschist faciès qui se justifie clairement par l'apparition de la chlorite dans chaque paragenèse minéralogique. Ces résultats ont permis de déduire que la vallée de la M'vunzi est tapissée des roches vertes de Gangila dont les principales sont les amphibolites, les chloritoschistes, les micaschistes et les épidotites. Ce sont donc, pour la plupart d'anciennes laves basaltiques très riches en plagioclase qui se sont transformées par la suite du métamorphisme en roches vertes. Ces dernières sont les produits dus au gradient métamorphique régional de Basse Pression et Haute Température (BP-HT).

MOTS-CLEFS: Gondwana, Rodinia, Panafricain, metabasalte, amphibolite, épidotite. En anglais : Gondwana, Rodinia, Panafrican, metabasalt, amphibolite, epidotite.

1 INTRODUCTION

La vallée de M'vunzi où nous avons concentré notre étude est située dans le degré carré de Matadi (S6/E13) au Kongo Central, Territoire de Seke-Banza, à environs 26 Km (à vol d'oiseau) au nord de la ville portuaire de Matadi, dans la partie sud-ouest de la République Démocratique du Congo. Elle est comprise entre 13°22,328' et 13°33,176' de longitude Est et 5°32,167' et 5°33,686' de latitude sud (Figure 1).

Les roches vertes de Gangila dont fait partie les roches vertes de la vallée de M'vuzi, ont fait l'objet de nombreux travaux géologiques et d'un certain nombre de publications depuis la présence des premiers géologues dans les environs immédiats du port de Matadi et se prolongeant vers le nord jusque dans l'actuel Territoire de Seke-Banza. Parmi ces travaux on notera ceux de [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19] et [20].

Cette étude des paragenèses minérales basée sur les descriptions pétrographiques de différents faciès des roches vertes de Gangila rencontrés dans la vallée de la rivière M'vunzi vient donc compléter les descriptions précédentes tant macroscopiques que microscopiques faites par nos prédécesseurs dans l'objectif de recueillir les nouvelles informations nécessaires concernant les caractères macroscopiques et microscopiques de metabasalts de Gangila, afin d'apporter des arguments cohérents permettant d'approcher les conditions de genèse et d'évolution de ces roches vertes.

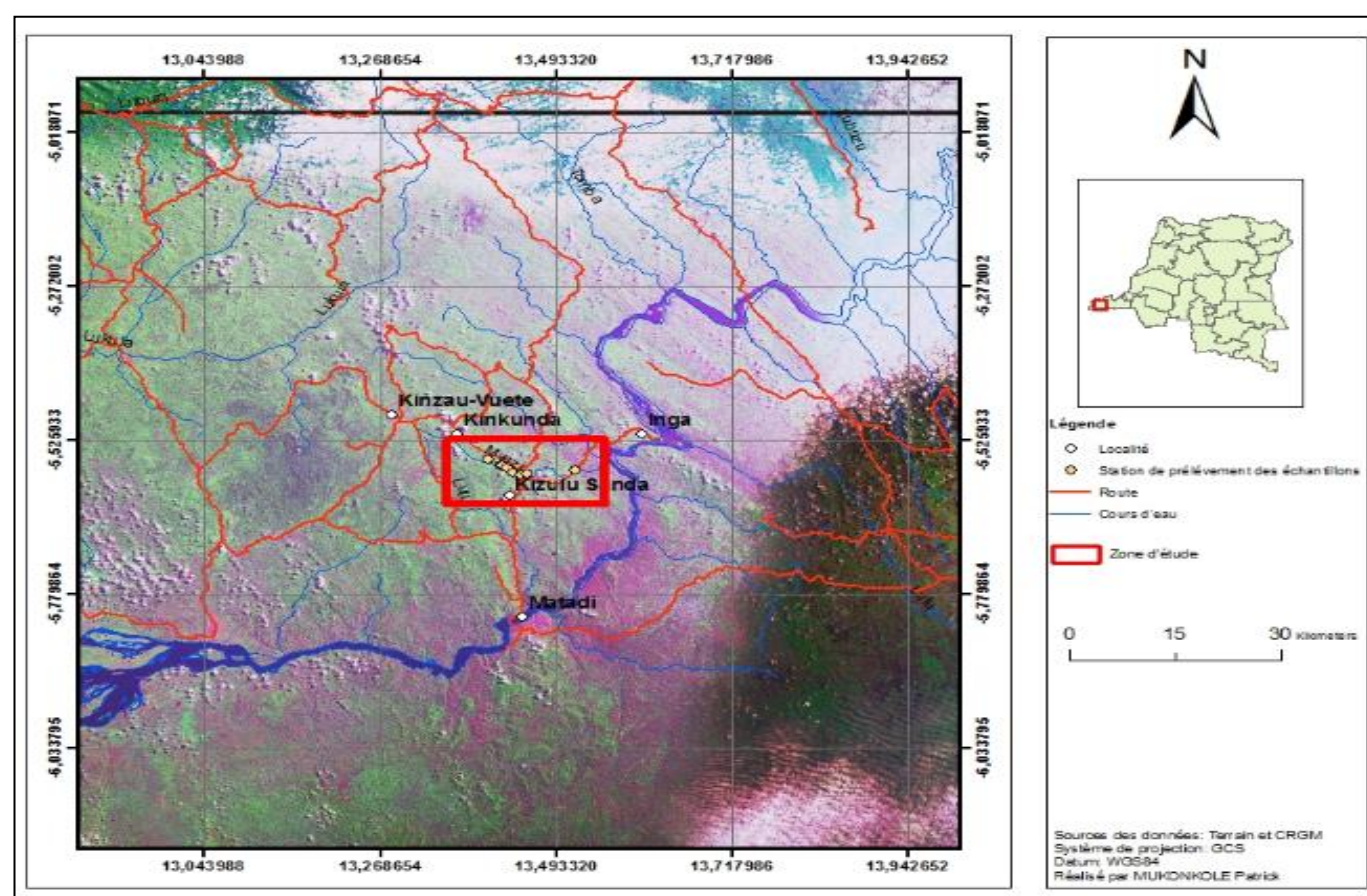


Fig. 1. Carte de la localisation géographique de la zone d'étude

2 CONTEXTE GEOLOGIQUE

Au Kongo Central, les roches vertes de Gangila attribuées au Supergroupe de l'Ouest-Congo du néoproterozoïque, où les formations basales (Formations de metabasalts de Gangila et d'Inga) du Groupe de Seke-Banza / Tshela ont été daté du Tonien précoce (1000 à 920 Ma) dans la chaîne panafricaine de son éponyme ([15], [21], [18]). Ces formations basales composées de laves basaltiques vert-foncées amygdalaires en bancs pluri décimétriques montrant une nette rythmicité entre la partie inférieure massive et la partie supérieure à texture amygdalaire, friable (Formation de Gangila) et de coulées rhyolitiques et d'ignimbrites, avec intercalations mineures de volcano-sédiments acides (tufs, bombes,...) et de sédiments quartzitiques et quartzophylladeux, présentant de grandes variations de faciès (Formation d'Inga).

Toutes ces formations reposent sur les formations du Groupe de Matadi (quartzites massifs de Matadi et métarhyolites de Palabala) lesquelles reposent en discordance sur le Socle Paléoprotérozoïque Kimezien [15] (Figures 2 et 3).

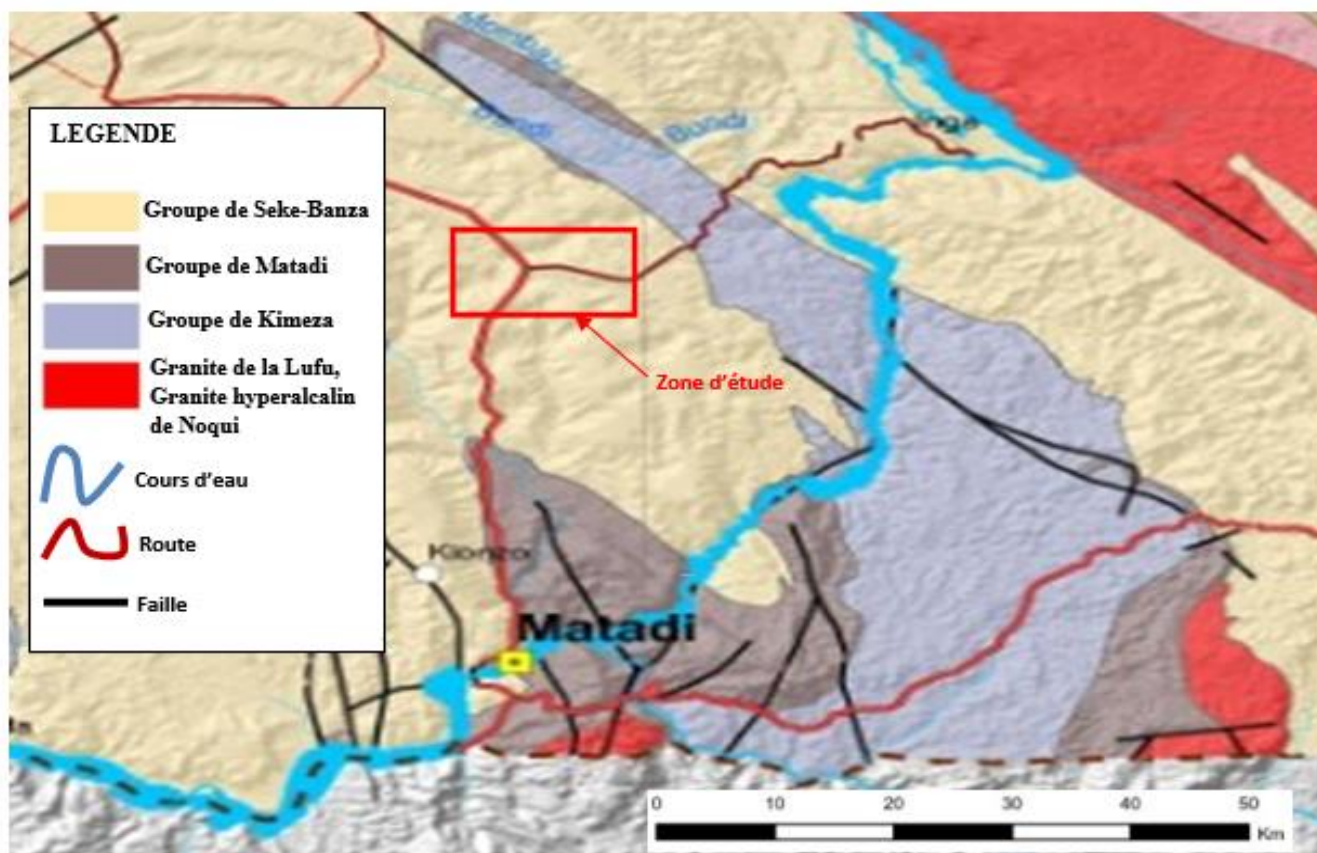


Fig. 2. Carte géologique du secteur d'étude (Extrait de la carte géologique de la Province du Kongo Central; E: 1/ 500.000, [18])

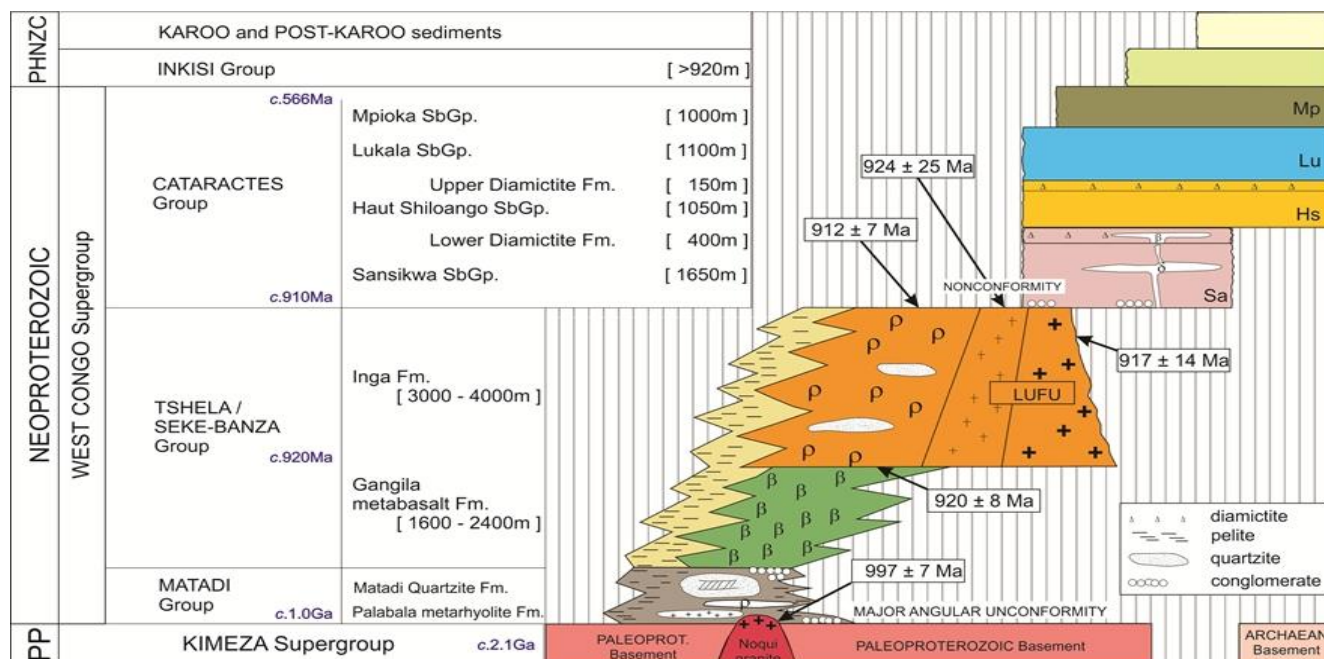


Fig. 3. Reconstruction lithostratigraphique du Supergroupe Néoprotérozoïque Ouest-Congo qui est composé de trois groupes, de bas en haut: le Groupe de Matadi, le Groupe de Tshela/Seke-Banza et le Groupe des Cataractes. Symboles: p = rhyolite; β = basalte; δ = dolérite; M = Mativa; BK = Bata Kimenga (D'après [18]). adaptée de [15]

La chaîne de l'Ouest-Congo est installée entre les cratons archéens du Kasai, au sud-est et du Chaillu, au nord-ouest et se développe sur plus de 1400 Km de longueur et 150 à 300 Km de largeur, le long de la marge occidentale du craton du Congo à partir du sud-ouest de la République du Gabon, en passant par l'ouest de la République du Congo, l'extrême ouest de la République Démocratique du Congo, le nord-ouest de la République d'Angola jusqu'au Brésil où elle prend le nom de la Chaîne Araçuai. La chaîne a ainsi été dénommée Araçuai - West Congo Orogen (AWCO) (Figure 4).

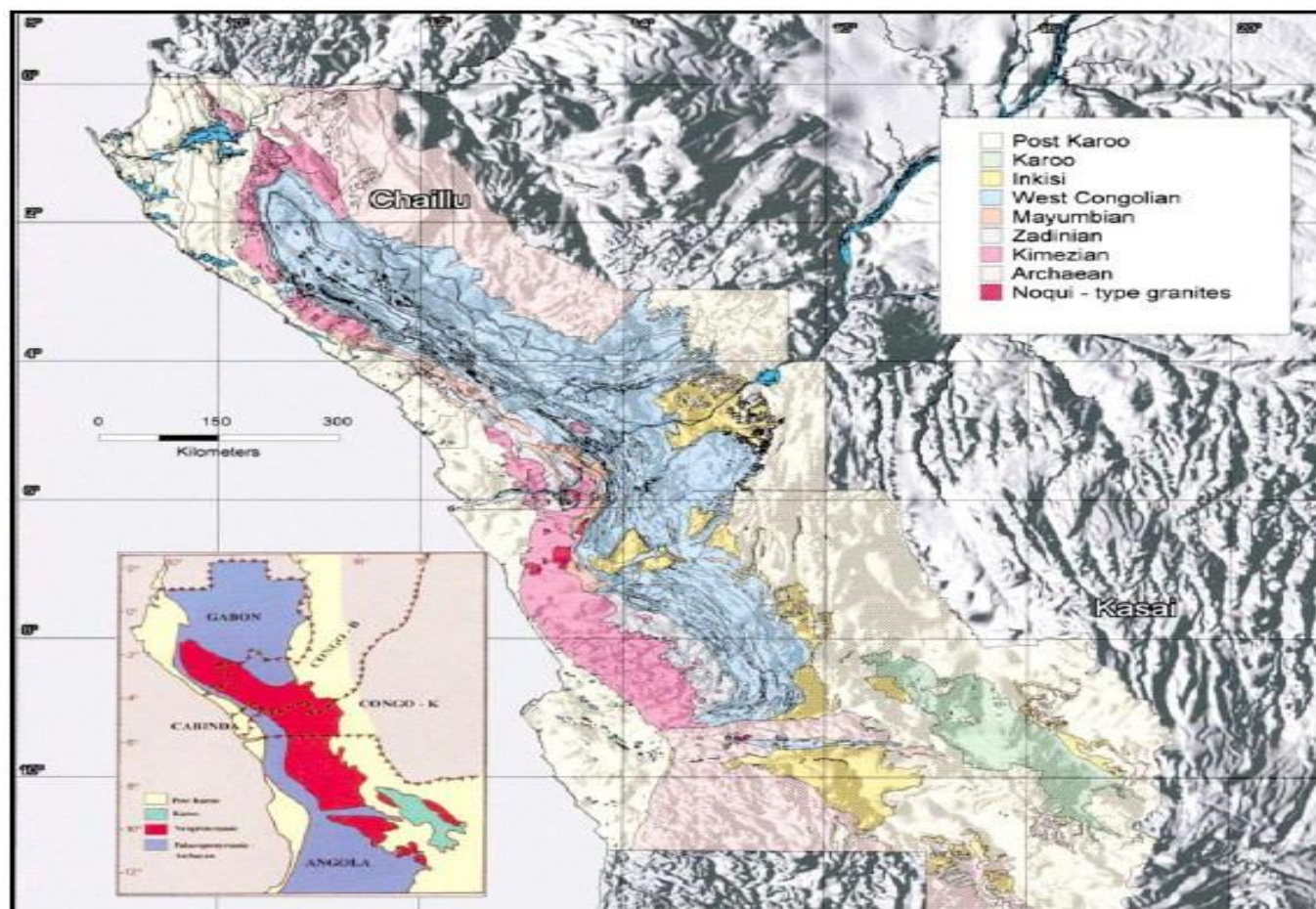


Fig. 4. Carte géologique et localisation de la chaîne panafricaine Ouest-Congo, compilé de cartes géologiques de Gabon ([22], [23]), la République du Congo ([24], [25], [26]), Cabinda et Angola ([27], [28], [29]), la République Démocratique du Congo [9] et la partie ouest de la province du Kongo-Central en République Démocratique de Congo. D'après [31]

L'orientation de la chaîne de l'Ouest-Congo est subparallèle à la côte atlantique entre 1° et 12° Sud. Sa construction et sa structure complexe (Figure 5) ont été acquise à la suite de la collision entre le craton du Congo à l'Est et le craton de Sao Francisco à l'Ouest lors de la formation du Gondwana occidental durant l'orogénèse Brasiliano-Panafricaine ([32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [21], [39], [40], [41]) (Figures 5). La collision entre les deux blocs continentaux s'est faite suite à la fermeture du domaine océanique (Océan ancien Adamastor) qui les séparait pendant la dislocation de Rodinia [42]. La structure globale de la chaîne Ouest-Congo présente une direction NW-SE, mais montre une flexion prononcée dans le Kongo-Central. Sur base des observations de terrain ([11], [43], [44], [35]), des données gravimétriques disponibles [45] et des colonnes stratigraphiques publiées, [15] ont schématisé la section E-W de la chaîne Ouest-Congo; elle représente en général une quantité décroissante de déformations accompagnées de failles de l'Ouest vers l'Est et de plissement des couches.

La chaîne panafricaine de l'Ouest-Congo (1 à 0,5 Ga) est composée d'un avant-pays à l'Est et d'un domaine d'arrière-pays à l'Ouest (Figure 6). Le style et le degré de métamorphisme différencient les deux domaines. Le domaine d'avant-pays est constitué de roches faiblement à non métamorphisées tandis que celui de l'arrière-pays est caractérisé par un métamorphisme de type Basse Pression - Haute Température (BP – HT). Les roches vertes de Gangila de la vallée de M'unzi font partie de ce domaine de l'arrière-pays ([15], [18], [1]).

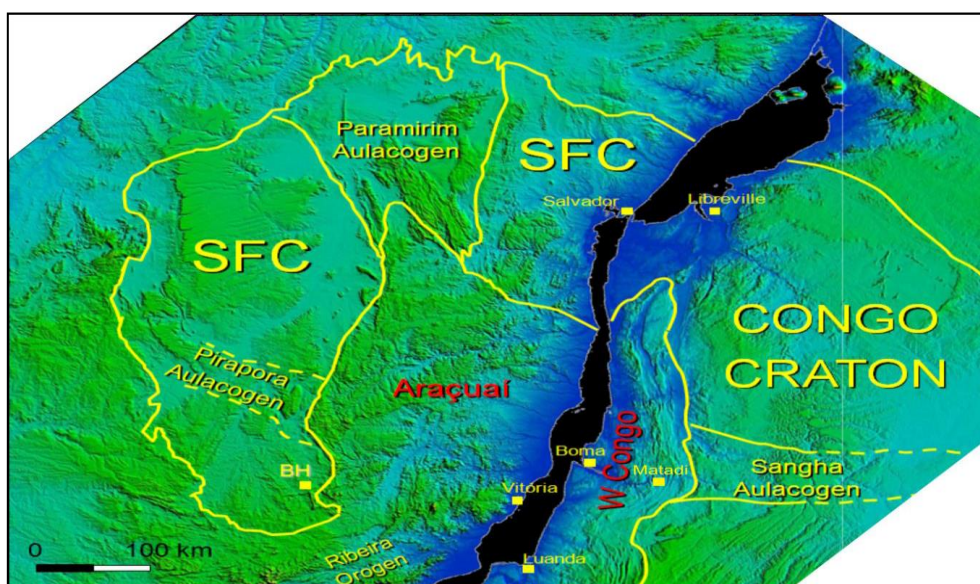


Fig. 5. Indication du Craton San Francisco [SFC] et du Congo qui joint la chaîne Araçuaí et la chaîne de l'Ouest-Congo. D'après [47]

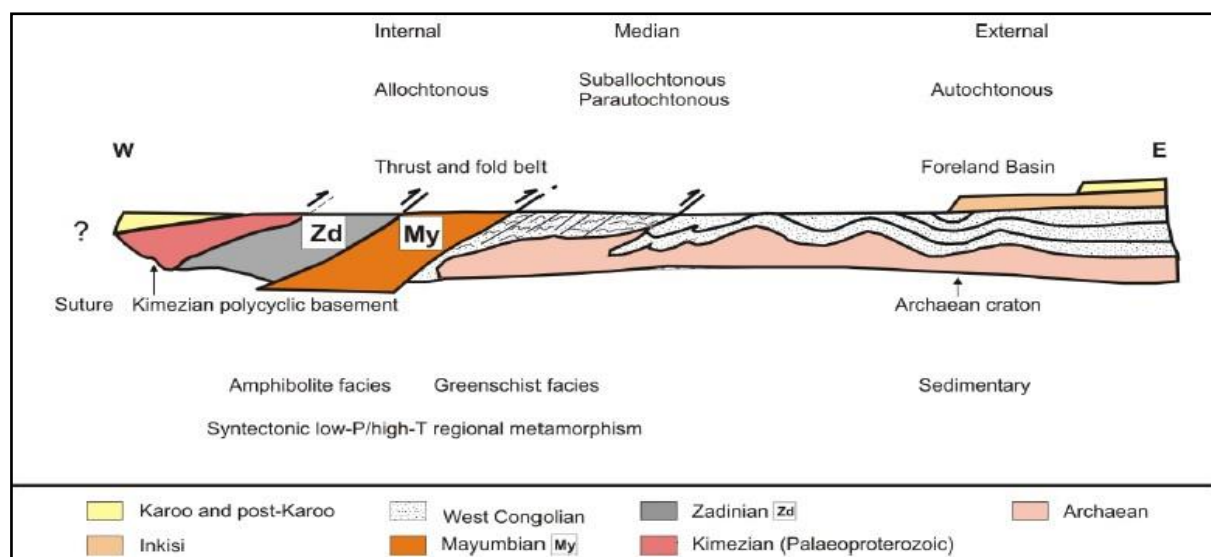


Fig. 6. Profil schématique de la section E-W de la Chaîne Ouest-Congo au Kongo Central. D'après [15]

3 MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1 MATÉRIELS

La réalisation de cette étude a nécessité l'utilisation d'un GPS de marque Garmin (GPSMAP 64s) pour le positionnement géographique des sites de prélèvement des échantillons; d'une boussole à clinomètre incorporé pour se repérer sur le terrain et pour mesurer les directions et pendages des strates observées; d'un marteau de géologue qui nous a servis dans un premier temps à créer une cassure fraîche dans la roche afin de mieux décrire cette dernière et dans un second temps à l'échantillonnage; d'une loupe minéralogique pour l'identification des minéraux et les éléments figurés dans la roche; d'un carnet de terrain pour noter toutes les observations et mesures de terrain; d'un appareil photographique; des sachets d'emballage des échantillons et d'un sac. Le logiciel d'application ArcGis 10.5 installé dans l'ordinateur nous a permis de traiter les données spatialisées collectées sur le terrain et d'élaborer les cartes.

Au total, 20 échantillons ont été prélevés sur le terrain et sept échantillons, représentant chacun un faciès pétrographique identifié sur le terrain, ont été sélectionnés et servi à la confection des lames minces avec une épaisseur standard de 30 microns. L'observation de ces dernières a été possible grâce à l'utilisation d'un microscope binoculaire de marque Leitz Wetzlar.

3.2 MÉTHODES

Dans cette étude, nous avons recouru à la méthode documentaire, suivi des investigations sur le terrain et des travaux de laboratoire.

La méthode documentaire nous a permis de consulter les travaux antérieurs (thèses et mémoires d'études géologiques, les annales scientifiques, les bulletins, les revues scientifiques, les cartes géologiques de la région d'étude, les images satellites, etc.) ayant trait à la géologie de la province du Kongo Central dans le but d'avoir une idée sur les formations à cartographier, les coupes géologiques déjà élaborées, le style tectonique ainsi que les problèmes en discussion. Ceci était utile pour orienter les itinéraires favorables pour le levé sur le terrain, etc.

Sur le terrain, nous avons effectué un levé géologique itinérant le long de la rivière M'vuzi, accompagné de descriptions macroscopiques des roches.

Au laboratoire, nous avons procédé, à l'aide des lames minces et du microscope binoculaire de marque Leitz Wetzal, à la description microscopique des lames minces dans le but d'améliorer les descriptions pétrographiques faites sur le terrain; ce qui nous a permis de bien définir la composition minéralogique, la structure et la texture des différentes roches.

Pour la détermination des minéraux des roches au microscope polarisant, nous nous sommes référé aux méthodes et les caractéristiques décrit par [48], [49], [50] et [51].

Les lames minces confectionnés ont été observé au microscope polarisant en Lumière Polarisée Non Analysée (LPNA) et en Lumière Polarisée Analysée (LPA). Ces dernières nous ont permis de déterminer les caractéristiques microscopiques des minéraux tels que:

- La teinte de polarisation observée en LPA et à l'aide de l'échelle des teintes de Newton;
- La forme des minéraux (automorphe, xénomorphe, etc.);
- La couleur des minéraux observée en LPNA a permis de distinguer les minéraux opaques (noirs) tels que les ferromagnésiens, les minéraux incolores tels que les feldspaths et le quartz, les minéraux légèrement colorés et changeant de couleur par rotation de la platine tels que les micas noirs et les amphiboles;
- Le relief des minéraux en LPNA nous a permis de distinguer les minéraux à relief fort (pyroxène et grenats), à relief moyen (micas) et à relief faible (feldspaths et quartz) et les craquelures;
- La foliation qui s'exprime en LPNA et LPA par une alternance entre lits riches en micas et lits quartzeux;
- Les teintes de biréfringence des minéraux observables en LPA;
- Les angles d'extinction observés en LPA afin de déterminer les minéraux tels que les plagioclases, les amphiboles et les pyroxènes;
- Les macles ont été bien observé en LPA, et
- Le clivage observable dans les feldspaths albitiques

4 RÉSULTATS

Les observations macroscopiques des différents échantillons des roches et microscopiques des lames minces ont permis d'observer les minéraux des roches ci-après:

4.1 LES AMPHIBOLITES

4.1.1 CARACTÈRES MACROSCOPIQUES

Elles sont massives, de couleur vert sombre, plus ou moins grenues, recoupées par des filonnets et constituées des cristaux de quartz dispersés dans la roche (Figure 7A et 7F).

4.1.2 CARACTÈRES MICROSCOPIQUES

De structure granoblastique, elles sont riches en actinote chloritisée à extinction oblique. Le pyroxène est complètement altéré. La chlorite est présente en larges plages de couleur blanchâtre. Le grenat est en forme hexagonale, de couleur brun - rouge et cerné par le quartz. Les épidotes souvent en cristaux rouges du premier ordre. Les biotites en cristaux à polarisation en vert et jaune ainsi que du quartz authigène, automorphe et poeciloblastique (Figure 8A et 8F).

4.2 LES CHLORITOSCHISTES

4.2.1 CARACTÈRES MACROSCOPIQUES

Ils sont massifs, verdâtres et contiennent des cristaux de couleur verte (chlorites) en lamelles aplaties en proportion élevée, des cristaux de quartz automorphes dispersés dans la masse rocheuse, des cristaux de feldspaths allongés ainsi que des cristaux jaunes à aspect brillant. Ces chloritoschistes présentent une altération en jaune sous forme d'auréole autour des cristaux de quartz (Figures 7C et 7G).

4.2.2 CARACTÈRES MICROSCOPIQUES

A l'échelle microscopique (Figures 8C et 8G), on observe en LPNA une minéralogie à prédominance de chlorite (environ 90%) qui se présente sous forme de nuage, de tuf blanchâtre et de teinte d'interférence grise. Dans d'autres plages, elle se présente sous forme de feutrage. Elle épouse les anciennes orientations de la biotite et provient probablement de cette dernière. La biotite chloritisée présente un clivage, une extinction droite et une teinte d'interférence assez élevée qui va d'orange au vert et se présente sous forme de reliques au sein des plages de chlorites. L'amphibole est complètement altérée et chloritisée. Les quartzs en cristaux très fins et à extinction roulante. Dans d'autres plages, ils se cristallisent en cristaux de grande taille (porphyroblastes). Le pyroxène est complètement détruit et laisse son réseau visible dans les plages chloritisées. Les plagioclases albitiques sous forme de microlites montrant des craquelures. On observe aussi des reliques de micas. La cordiérite, en fin, se présente sous forme de cristaux arrondis, de teinte jaunâtre, à trabecules anastomosées envahissant le minéral et donne un feutrage en croix de phyllite.

4.3 LE MICASCHISTE

4.3.1 CARACTÈRES MACROSCOPIQUES

Il est vert foncé, de texture schisteuse et friable, brillant en raison de l'abondance de micas visibles à l'œil nu, à grain moyen, moins dense et un peu altérée. Il se débite en plaquettes à surface brillante parallèle matérialisée par les lits sombres de micas qui alternent avec les lits clairs contenant principalement des feldspaths. Ce caractère observé à l'œil nu définit la foliation. Les cristaux sombres (micas) apparaissent sous forme de lamelles d'un noir brillant dont la direction générale est celle du plan de schistosité et occupent l'entièreté de la roche (Figure 7D).

4.3.2 CARACTÈRES MICROSCOPIQUES

En lame mince (Figure 8D), il présente une structure lépidoblastique et contient des biotites très abondantes sous forme de cristaux automorphes allongés suivant une direction, de couleur brune et d'un fort pléochroïsme dans le brun sombre ou verdâtre et à relief moyen. Il montre des plagioclases albitiques et de l'épidote en tufs de cristaux agglomérés provenant de l'altération des plagioclases basiques.

4.4 LES ÉPIDOTITES

4.4.1 CARACTÈRES MACROSCOPIQUES

Elles sont massives, verdâtres, finement grenues, à cristaux vert sombre, de texture rubanée (foliée), à rubanement millimétrique clairs constitués de feldspaths et à rubanement millimétrique sombres constitués de minéraux sombres. Le débitage de la roche suit l'allure de ces rubans. Ces roches contiennent des filonnets de calcite de quelques millimètres d'épaisseur (Figures 7B et 7E).

4.4.2 CARACTÈRES MICROSCOPIQUES

Au microscope (Figures 8B et 8E), elles sont de structure granoblastique et contiennent à prédominance de l'épidote à teinte de polarisation dans le jaune-orange, automorphe de forme hexagonale. Dans d'autres plages, cette épidote est soit sous forme d'agglomérats, soit sous forme des cristaux écrasés. On observe aussi du pyroxène à extinction roulante, de l'albite en grosses baguettes à macles polysynthétiques et dans d'autres plages, en cristaux présentant leurs anciens clivages en dépit de l'altération, des plagioclases en forme des microlites allongés dans un verre, de la calcite en grains comblant d'anciennes fissures et remplissant une vacuole ovoïde, de la chlorite de teinte gris-blanc en paillettes dispersées et allongées suivant le réglage des ferro-magnésiens ainsi que de la zoisite à cristaux à relief prononcé de teinte basse blanche à gris bleuté.

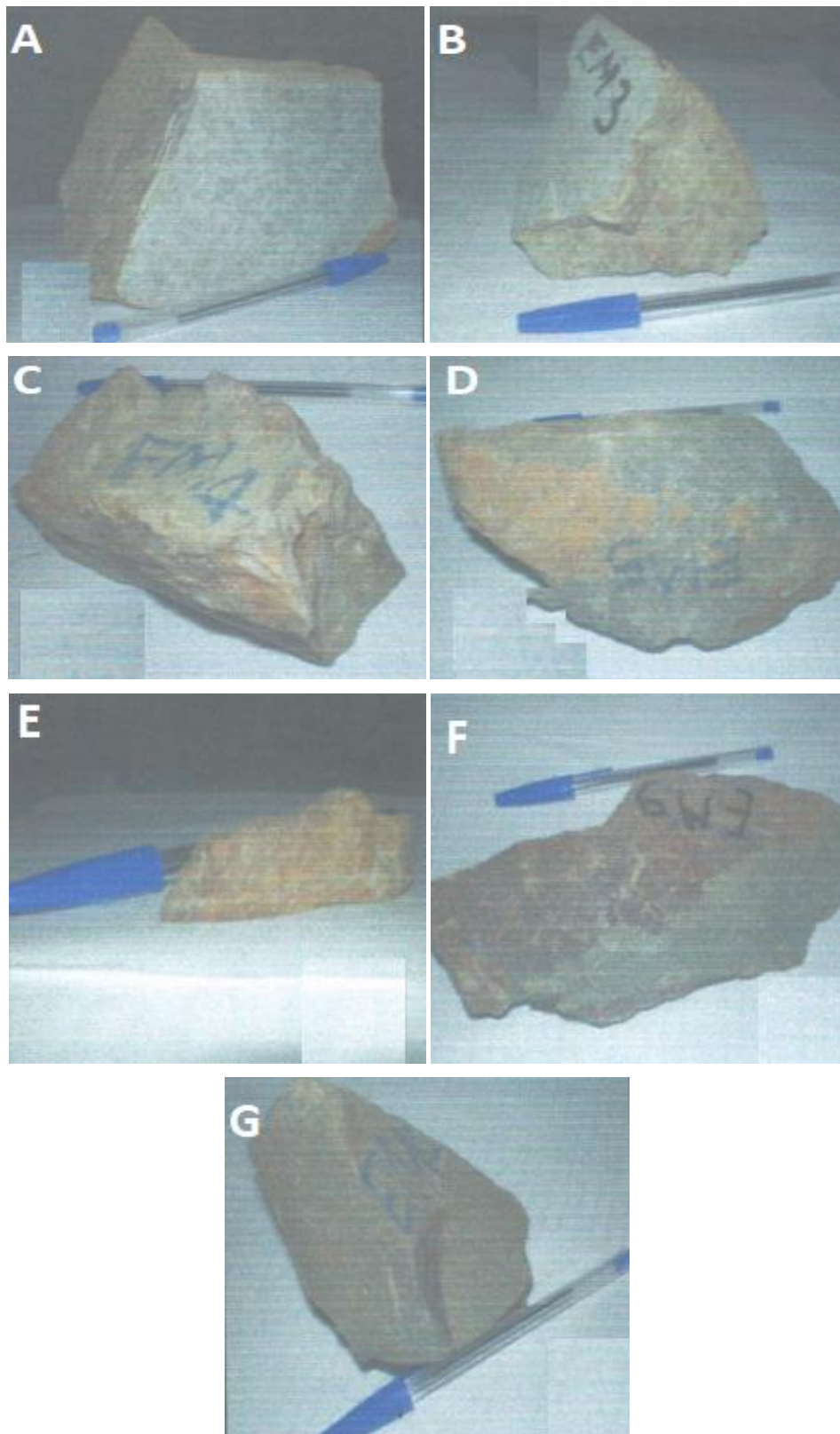


Fig. 7. Vues macroscopiques des échantillons des roches vertes de Gangila de la vallée de M'vunzi: (A) Amphibolite chloritisée à grenat et épidote; (B) Epidotite; (C) Chloritochiste à reliques de biotites et à porphyroblaste de quartz; (D) Micaschiste à épidote et plagioclase; (E) Epidotite à albite; (F) Amphibolite; (G) Chloritochiste à cordiérite

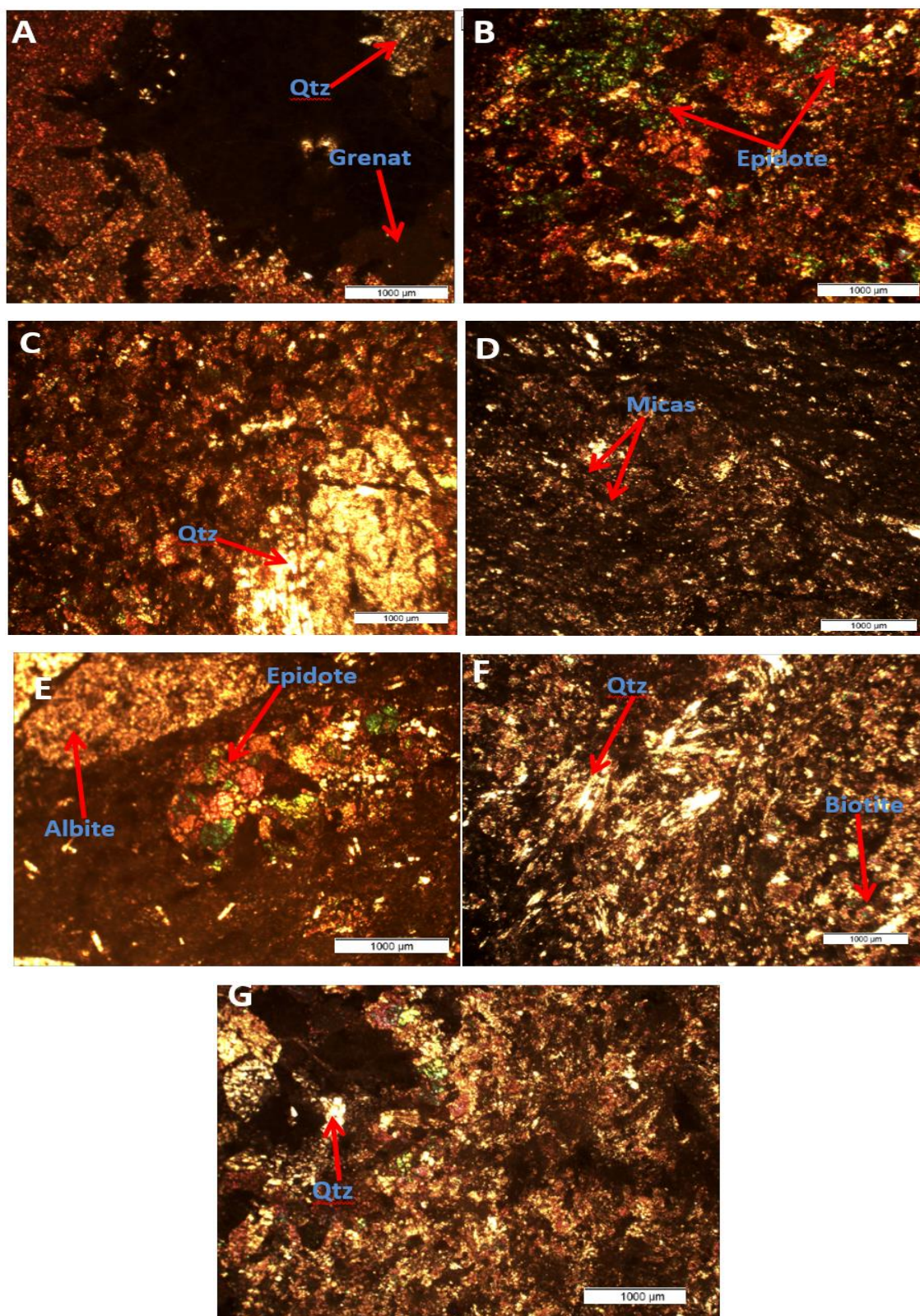


Fig. 8. Vues microscopiques en LPA des lames minces des roches vertes de Gangila de la vallée de M'unzi: (A) Amphibolite chloritisée à grenat et épidote; (B) Epidotite; (C) Chloritoschiste à reliques de biotites et à porphyroblaste de quartz; (D) Micaschiste à épidote et plagioclase; (E) Epidotite à albite; (F) Amphibolite; (G) Chloritoschiste à cordiérite

5 DISCUSSION ET CONCLUSION

La description pétrographique sur le terrain, complétée par les observations microscopiques en lames minces, a permis d'identifier quatre faciès pétrographiques des roches métamorphiques à savoir: les amphibolites, les chloritoschistes, le micaschiste et les épidotites.

Les minéraux prépondérants dans ces roches vertes de la vallée de M'unzi sont:

- La *chlorite* qui se présente en larges plages de couleur blanchâtre; certaines plages présentent cette chlorite sous forme de paillettes de teinte gris-blanc dispersées et allongées suivant le réglage des ferro-magnésiens, sous forme de nuage, de tuf blanchâtre et de teinte d'interférence grise et sous forme de feutrage. Elle épouse les anciennes orientations de la biotite et provient probablement de cette dernière;
- L'*actinote* à extinction oblique, indices de contraintes tectoniques qui ont affectées les roches de la région d'étude. Dans d'autres plages, elle est complètement altérée;
- Les *épidotes* à teinte de polarisation dans le jaune-orange, souvent en cristaux rouges du premier ordre, se présentent soit en tufs de cristaux agglomérés ou écrasés, soit automorphes de forme hexagonale. Dans d'autres plages, sous la variété de zoïsite, elles se présentent en cristaux à extinction droite et à relief prononcé de teinte basse blanche à gris bleuté;
- Les *biotites* sous forme de cristaux allongés automorphes de couleur brune, présentant un clivage, une extinction droite et une teinte d'interférence assez élevée qui va d'orange au vert et se présentent sous forme de reliques au sein des plages de chlorites. Dans d'autres plages en cristaux à polarisation en vert et jaune;
- Le *pyroxène* à extinction roulante, complètement altéré dans d'autres plages et laisse son réseau visible dans les plages chloritisées;
- L'*albite* (plagioclases) se présentant en grosses baguettes à macle polysynthétique et dans d'autres plages, en cristaux présentant leurs anciens clivages en dépit de l'altération et en forme des microlites allongés dans un verre

Les paragenèses minéralogiques des différents types pétrographiques décrits dans la vallée de M'unzi, composées de: épidote-chlorite-quartz, épidote-plagioclase-albite-chlorite-calcite, chlorite-biotite-quartz et chlorite-biotite-albite-quartz sont typiquement des paragenèses de minéraux secondaires et indiquent que toutes les laves basiques du secteur d'investigation ont été affectées par le métamorphisme régional de greenschist faciès qui se justifie clairement par l'apparition de la « chlorite » dans chaque paragenèse minérale ([11], [12], [52], [53]).

L'étude pétrographique antérieure menée par [17] dans les environs de la vallée de M'unzi a conduit à l'identification de trois types pétrographiques à savoir:

- Un micaschiste à biotite et épidote dans lequel le plagioclase et l'amphibole sont des constituants mineurs;
- Une amphibolite contenant de fines aiguilles réglées d'actinote ou de trémolite;
- Une épidotite, roche hétérogène constituée principalement d'épidote (de microcline), de (clino) zoïsite, de plagioclase albitique à angle d'extinction compris entre 10° et 15° (oligoclase-andésite) et biotite

La présente étude nous a permis d'identifier un quatrième type pétrographique qui est un chloritoschiste décrit ci-haut. Cette observation confirme les descriptions faites par [11] qui sont similaires à celle du chloritoschiste au voisinage immédiat de Matadi. Ensuite deux minéraux nouveaux ont été identifiés à savoir le grenat et la cordiérite observés respectivement dans une amphibolite et dans un chloritoschiste. Cette cordiérite pourrait provenir de la déstabilisation de chlorite suivant la réaction: Chlorite + Muscovite + Quartz → Cordiérite + Biotite + Eau dans les conditions métamorphiques de BP-HT des séquences basiques de la vallée de la M'unzi.

Les metabasites de Gangila contiennent des minéraux hydratés tels que les amphiboles, les micas et les épidotes; ce qui suppose une hydratation pendant le métamorphisme rétrograde qui s'est produit dans la région d'étude. Les échantillons prélevés le long de la rivière M'unzi montre le phénomène de déstabilisation des minéraux magnésiens (chlorites) qui est à la base de la recristallisation des minéraux alumineux tels que le grenat, l'épidote associés à l'actinote et la calcite.

En outre, nous observons aussi les effets de la « saussuritisation » dans les échantillons des roches analysées. Ce processus se produit dans les conditions du greenschist faciès; c'est-à-dire où il y a remplacement des plagioclases basiques (labrador, bytownite, anorthite) par l'épidote tel qu'observé dans les épidotites décrites ci-haut (Figure 7b).

Les effets des déformations tectoniques et les recristallisations, qui accompagnent le métamorphisme régional, caractérisés par les textures telles que la schistosité et la foliation, ont été relevés lors des observations microscopiques dans les faciès des roches vertes de Gangila massives et schisteuses (épidotites et micaschiste à épidote et plagioclase) par l'extinction roulante et l'apparition de craquelures dans certains minéraux tels que l'amphibole, le pyroxène, la biotite, le plagioclase et l'épidote [54]. Les textures telles que la schistosité et la foliation observées dans ces roches vertes de la vallée de M'unzi permettent de conférer à ces dernières l'architecture des roches cristallophylliennes ([55], [52]). A ceux-là s'ajoutent les effets des contraintes anisotropes qu'ont subies les laves transformées de Gangila pendant l'orogénèse panafricaine Ouest-congolienne qui sont témoignés par la croissance préférentielle des minéraux parallèlement à la schistosité ([56], [57]) tel qu'observé dans le micaschiste décrit ci-haut.

Du point de vue pétrogénétique, les roches vertes de la vallée de M'vunzi sont dues au gradient métamorphique régional de Basse Pression et Haute Température (BP-HT) ([11], [30], [44]) caractérisé par les minéraux index tels que la chlorite, la biotite, la cordiérite et le pyroxène issues d'une rétro-morphose épizonale d'anciennes laves basiques à ultrabasiques très riches en plagioclases qui se sont actuellement transformées en roches vertes ([11], [37]). Ces laves basiques de Gangila ont atteint, bien avant les conditions rétro-morphiques, le stade de la mésozone attesté par la présence du grenat (almandin), de la biotite, de l'amphibole et de plagioclase.

REFERENCES

- [1] F. CORIN, «Contribution à l'étude géologique des régions de Boma et Matadi», *Bull. Soc. Belg. Géol.*, 55, 212-218, 1946.
- [2] F. CORIN, «Note sur la géologie des environs de Matadi», *Ann. Soc. géol. Belg.*, 71, 71-75, 1948.
- [3] F. CORIN, «Les roches vertes de Matadi. Leur nature et leur structure», *Bull. A.R.S.O.M.*, 2, 385-388, 1973.
- [4] L. CAHEN, *Géologie du Congo Belge*, H. Vaillant-Carmanne, S.A., Liège, 1954.
- [5] P. GROSEMANS, «Intrusions basiques et laves des formations anciennes du Bas-Congo», *Ann. Mus. Congo Belge*, Tervuren, Sér. n°8, Sci. Géol., 9, 11-36, 1951.
- [6] A. BERTOSSA et P. THONNART, «Etude géologique de la région Matadi-Inga-Monolithe», *Bull. Serv. Géol. Cong. Belg et R.-U.*, n°7, fasc. 5, 1-12, 1957.
- [7] C. MASSAR, «Note sur les formations précambriennes de la région Matadi-Fornasari (Bas-Congo)», *Bull. Soc. belg. Géol.*, 75, 337-347, 1967.
- [8] J. LEPERSONNE, Existence de plusieurs niveaux différents de roches vertes confondus sous le nom de roches vertes de Gangila au Bas-Zaïre et en Angola, Note interne MRAC, 3 p., 1973.
- [9] J. LEPERSONNE, *Carte géologique du Zaïre au 1/2.000.000 et notice explicative*, Dir. Géol., Dépt. Mines, Rép. Zaïre, 67 p., 1974.
- [10] B. STEENSTRA, «État des connaissances sur la stratigraphie du Zadinien dans le Bas-Zaïre», *Rapp. ann. 1972, Dépt. Géol. Min. Mus. roy. Afr. centr.*, Tervuren, 70-81, 1973.
- [11] L. TACK, «Etude pétrochimique de la formation des roches vertes de Gangila aux environs de Matadi (Bas-Zaïre)», *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 98, 229-249, 1975.
- [12] L. TACK, «Données pétrochimiques concernant les roches vertes de la région d'Inga au Bas – Zaïre», *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 102, 181-184, 1979a.
- [13] L. TACK, «Données pétrochimiques concernant des roches vertes affleurant dans la région de Bibuanga au Mayumbe (Bas-Zaïre)», *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 102, 185–187, 1979b.
- [14] P.J. VELLUTINI, G. ROCCI, P. GIOAN et J.P. VICAT, «Mise en évidence de complexes ophiolitiques dans la chaîne Mayumbienne (Gabon-Angola) et nouvelle interprétation géotectonique», *Precambrian Research*, 22, 1-21, 1983.
- [15] L. TACK, M.T.D. WINGATE, J.-P. LIEGEOIS, M. FERNANDEZ-ALONSO, A. DEBLOND, «Early Neoproterozoic magmatism (1000-910 Ma) of the Zadinian and Mayumbian Groups (Bas-Congo): onset of Rodinia rifting at the western edge of the Congo craton». *Precambrian Research*, 110, 277-306, 2001.
- [16] MADIENGA K.T., *Genèse et mise en place des occurrences cuprifères de la M'vunzi, Région d'Inga (Bas-Congo, R.D.C.)*, 2011a. [Online] Available: <https://tmediengageolenvironnement.blog4ever.com> (10/12/2019).
- [17] MADIENGA K.T., *Etude pétrologique des roches vertes de la M'vunzi, région d'Inga (Bas-Congo, R.D.C.)*, 2011b. [Online] Available: <https://tmediengageolenvironnement.blog4ever.com> (10/12/2019).
- [18] D. M. BAUDET; M. FERNANDEZ-ALONSO; K. F. KANT; L. TACK; K. THEUNISSEN; S. DEWAELE; K. EEKELERS; G. KADJA; E. MUJINGA; P. NSEKA; J. PHAMBU; N. KITAMBALA; E. KONGOTA; J. MATUNGILA; M. MUANZA et A.M. TSHIBWABWA., *Notice explicative de la carte géologique de la Province du Bas-Congo et Carte géologique à l'échelle du 1/500.000*, Version 1.0, MRAC (Belgique) – CRGM (R.D. Congo), 50p., 2013.
- [19] M.F. MAKOKA, M.T. KANIKA, N.F. MVUEMBA, M.N.J.-A. MAKUTU, M.J.-P. INTIOMALE, K.D. MAKUTU, «Contribution à l'actualisation de la carte géologique des environs de Matadi (R.D.C.) et Noqui (Angola)», *Congo Sciences*, 4, 2, 84-93, 2016.
- [20] P. MUKONKOLE, D. P. ILITO, V. KANDA-NKULA, P. MUANZA, D. MUILU, S. PINGANAY, «Etude métallogénique préliminaire des roches vertes de Gangila dans la Chaîne West Congo (WCB) en République Démocratique du Congo», *Congo Sciences*, 8, 1, 26-34, 2020.
- [21] H.E. FRIMMEL, L. TACK, M.S. BASEI, A.P. NUTMAN AND A. BOVEN, «Provenance and chemostratigraphy of the Neoproterozoic West Congolian Group in the Democratic Republic of Congo», *Journal of African Earth Sciences*, 46, 221 – 239, 2006.
- [22] H. HUDELEY, Y. BELMONTE, *Carte géologique de la République Gabonaise, échelle 1/1000000*. Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), 1966.
- [23] J.-P. BASSOT, «Apport de la télédétection à la compréhension de la géologie du Gabon», *Chron. Rech. Min.*, 419, 25–34, 1988.
- [24] P. DADET, *Carte géologique de la République du Congo, échelle 1/500.000*. Zone comprise entre les parallèles 2 et 5° Sud, Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), France, 1966.
- [25] F. DESTHIEUX, *Carte géologique de la République du Congo, 1/1000000*, Ministère des Mines et de l'Énergie, Direction des Ressources minérales, 1992.

- [26] F. DESTHIEUX, Carte géologique de la République du Congo, 1/1000000. Nouvelle édition avec légende mise à jour, Ministère des Mines et de l'Energie, Direction des Ressources minérales, 1994.
- [27] H. DE CARVALHO, *Geologia de Angola. Folha No 1. Escala 1/1000000*, Laboratório Nacional de Investigação Científica Tropical, Junta de Investigações Científicas do Ultramar, 1981.
- [28] A.G. DE ARAÚJO, O.V. PEREVALOV, *Carta de Recursos Minerais, Escala 1/1000000. República de Angola*, Ministério de Geologia e Minas, Instituto Geológico de Angola, 1998.
- [29] A.G. DE ARAÚJO, O.V. PEREVALOV, R.A. JUKOV, *Carta Geológica de Angola. Escala 1/1000000*, República Popular de Angola, Ministério da Industria, Instituto Nacional de Geologia, 1988.
- [30] L. TACK, Bijdrage tot de studie van de geologie, de petrografie en de petrologie van het Mayumbiaan van Neder-Zaire, Ph.D. Thesis, Rijks Universiteit Gent, Belgium, 1975b.
- [31] M. FERNANDEZ et L. TACK, *Provisional Map of the West Congolian Pan African orogenic belt, Scale 1/3000000*, Department of Geology and Mineralogy, Royal Museum for Central Africa, Tervuren, Belgium, 2000.
- [32] A.C. PEDROSA-SOARES, C.M. NOCE, P. VIDAL, R. MONTEIRO, O. LEONARDOS, «Toward a new tectonic model for the Late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil) – West Congolian (SW Africa) Belt», *Journal of South American Earth Sciences*, 6, 33-47, 1992.
- [33] A.C. PEDROSA-SOARES, C.M. NOCE, F.F. ALKMIM, L.C. SILVA, M. BABINSKI, U. CORDANI, C. CASTANEDA, «Orogeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos apos Almeida 1977», *Geonomos*, 15, 1–16, 2007.
- [34] R. TROMPETTE, A. UHLEIN, M.E. EGYDIO-SILVA, I. KARMANN, «The Brasiliano São Francisco craton revisited (central Brazil) ». *Journal of South American Earth Sciences*, 6, 49-57, 1992.
- [35] J.-C. MAURIN, «La chaîne panafricaine ouest-congolienne: corrélation avec le domaine est-brésilien et hypothèse géodynamique», *Bulletin de la Société Géologique de France*, 164, 51-60, 1993.
- [36] V. KANDA-NKULA, L. TACK, M. FERNANDEZ-ALONSO, G. FRANCESCHI & H. FRIMMEL, «The Pan African West Congo and Katanga thrust and fold belts and their foreland domains: similarities and differences in Neoproterozoic basin evolution and mineralization», *20th Colloquium on African Geology, Orléans, June 2004*, Abstracts volume, p. 227, 2004.
- [37] F.F. ALKMIM, S. MARSHAK, S.A.C. PEDROSA, G.G. PERES, S.C. CRUZ and A. WHITTINGTON, «Kinematic evolution of the Araçuaí- West Congo orogen in Brazil and Africa: nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana», *Precambrian Research*, 149, 43–63, 2006.
- [38] F.F. ALKMIM, PEDROSA S.A.C., NOCE C.M., CRUZ S.C.P., «Sobre a evolucao tectônica do Orogeno Araçuaí-Congo Ocidental», *Geonomos*, 15, 35–43, 2007.
- [39] C.M. NOCE, A.C. PEDROSA-SOARES, L.C. DA SILVA, R. ARMSTRONG, D. PIUZANA, «Evolution of polycyclic basement complexes in the Araçuaí Orogen, based on U–Pb SHRIMP data: Implications for Brazil–Africa links in Paleoproterozoic time», *Precambrian Research*, 159, 60-78, 2007.
- [40] P.C. NSUNGANI, La chaîne panafricaine du Nord-Ouest de l'Angola: Etude pétrostructurale, géochimique et géochronologique. Implications géodynamiques, Thèse, Université Montpellier II, 328 p., 2012.
- [41] L. GONÇALVES, F. FARINA, C. LANA, A. C. PEDROSA-SOARES, F. ALKMIM, H. A. Jr NALINI, «New U–Pb ages and lithochemical attributes of the Ediacaran Rio Doce magmatic arc, Araçuaí confined orogen, southeastern Brazil», *Journal of South American Earth Sciences*, 52, 129-148, 2014.
- [42] L. TACK, M. T. D. WINGATE, B. DE WAELE, J. MEERT, E. BELOUSOVA, B. GRIFFIN, A. TAHON, M. FERNANDEZ-ALONSO, «The 1375 Ma « Kibaran event » in Central Africa: Prominent emplacement of bimodal magmatism under extensional regime», *Precambrian Research*, 180, 63-84, 2010.
- [43] F. BOUDZOU MOU F., R. TROMPETTE, «La chaîne panafricaine ouest-congolienne au Congo (Afrique Equatoriale): un socle polycyclique charrié sur un domaine subautochtone formé par l'aulacogène du Mayombe et le bassin de l'Ouest-Congo», *Bull. Soc. Géol., France* 6, 889–896, 1988.
- [44] L. FRANSEN, L. ANDRE, «The Zadinian Group (late Proterozoic, Zaire) and its bearing on the origin of the West-Congo orogenic belt», *Precambrian Research*, 38, 215-234, 1988.
- [45] B.R. BYAMUNGU, P. LOUIS, R. CABY, «Reconnaissance gravimétrique de la chaîne ouest-congolienne, Congo-Bas-Zaire», *J. Afr. Earth Sci.*, 6, 767–772, 1987.
- [46] G.B. STRAATHOF, *Neoproterozoic Low Latitude Glaciations: An African Perspective*, Ph.D. Thesis University of Edinburg, 285pp., 2011.
- [47] A.C. PEDROSA-SOARES, *Internal PowerPoint presentation*, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Minas Gerais, 2013.
- [48] M. ROUBAULT, Détermination des minéraux des roches au microscope polarisant, Edition Lamarre-Poinat, Paris, 1963.
- [49] W.E. TROGER, *Optical determination of rock forming minerals*, English Edition of the 4th German Edition, Stuttgart, 1979.
- [50] W.S. MACKENZIE et A.E. ADAMAS, *Initiation à la pétrographie*, Dunod, Paris, 1999.
- [51] J-F BEAUX, B. PLATEVOET, J-F FOGELGESANG, *Atlas de géologie-pétrologie*, 3è Ed., Dunod, Paris, 2019.
- [52] C. NICOLLET, *Métamorphisme et géodynamique*, Dunod, Paris, 2010.
- [53] K. BUCHER and R. GRAPES, *Petrogenesis of Metamorphic rocks*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2011.
- [54] G. HOSSIE et R. CABY, «Unicité des déformations et du métamorphisme d'âge panafricain dans la chaîne ouest-congolienne», *X^e Coll. Géol. Afr., Mont-pellier*, 50-51, 1979.

- [55] J. JUNG, *Précis de pétrographie*. 3e Ed., Masson et Cie, Paris, 1969.
- [56] L. CAHEN, «Quelques données sur le plissement zadinien», *Rapp. Ann. 1976, Dépt. Géol. Min. Mus. Roy. Afr. Centr., Tervuren*, 29 – 50, 1977.
- [57] L. CAHEN, N.J. SNELLING, J. DELHAL, J.R. VAIL, *The Geochronology of Africa*, Clarendon Press, Oxford, 1984.

Lithostratigraphie des faciès kimberlitiques du massif I de la minière de Bakwanga (Mbuji-Mayi, Kasai-Oriental, RDC)

[Lithostratigraphy of kimberlite facies of Massif I of the Bakwanga mine (Mbuji-Mayi, Kasai-Oriental, DRC)]

*Télesphore MAYIBA¹, Albert KALAU², Crispin MUSAMBAYI¹, Divin TSHIMANGA³, Elie TSHINGULI⁴, Mersa KABANGU⁵, Seth NTUMBA⁶,
and Aimé TSHIBANDA¹*

¹Université Officielle de Mbuji-Mayi, RD Congo

²ISTA Kolwezi, RD Congo

³Université de Lubumbashi, RD Congo

⁴Université Kolwezi, RD Congo

⁵Institut de Bâtiments et Travaux Publics, Mbuji-Mayi, RD Congo

⁶Institut Supérieur Pédagogique, Katanda, RD Congo

Copyright © 2023 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 drilling allows us to know the true underground geology through the information provided by the cores which reflect the geological formations crossed, based on those made in this kimberlite massif, several logging have been traced and allowed an in-depth study on the different kimberlite facies encountered. The different sections made it possible to make a geological correlation between the different formations crossed by taking into account the facies intersected by the survey. The vertical drilling represented on the cuts that had been carried out by MIBA for the estimation of reserves made it possible to position the additional boreholes well in order to be able to intersect the enclosing formations. These kimberlite facies were encountered, the green kimberlite facies and/or lithic kimberlite with hematite-goethite, ferruginous products; xenokimberlite facies with hematite – goethite, chalcopryrite; epiclastites with hematite, goethite, chalcopryrite and carbonate formations of the Upper Bushimayian.

KEYWORDS: Pipes, survey, lithology, Kimberlitic, Mbuji-Mayi.

RESUME: Le forage nous permette de connaître la vraie géologie souterraine à travers les informations fournies par les carottes qui elles, reflètent les formations géologiques traversées, nous basant sur ceux réalisés dans ce massif kimberlitique, plusieurs logging ont été tracés et permis de une étude approfondie sur les différents faciès kimberlitique rencontrés. Les différentes coupes ont permis de faire une corrélation géologique entre les différentes formations traversées en tenant compte des faciès recoupées par le sondage. Les forages verticaux représentés sur les coupes qui avaient été réalisés par la MIBA pour l'estimation des réserves ont permis de bien positionner les sondages supplémentaires afin de pouvoir recouper les formations encaissantes. Ces faciès kimberlitiques ont été rencontrés, le faciès de kimberlite verte et/ou kimberlite lithique à hématite- goethite, produits ferrugineux; le faciès de xénokimberlite à hématite – goethite, chalcopryrite; les épicalstites à hématite, goethite, chalcopryrite ainsi que les formations carbonatées du Bushimayien supérieur.

MOTS-CLEFS: Pipes, sondage, lithologie, Kimberlitique, Mbuji-Mayi.

1 INTRODUCTION

Les gisements détritiques, riches en diamant, s'appauvrissent au fur et à mesure que progresse leur exploitation. Pour assurer l'avenir et la durée de vie de la société Minière de Bakwanga, l'exploitation peut se poursuivre par les gisements primaires qui sont des formations kimberlitiques.

Les kimberlites se présentent souvent sous une forme de pipes, soit des cheminées volcaniques montrant un diamètre inférieur au Km et des profondeurs allant jusqu'à 2500 m, elles forment des essaims de 10 à 40 corps répartis sur quelques hectares (Jébrak et Marcoux, 2008). Ainsi, il est intéressant de connaître l'état actuel des formations géologiques du massif kimberlitique¹ en se basant sur les données de 107 sondages carottants exécutés par la Société Minière de Bakwanga.

La profondeur moyenne de chacun de sondage était comprise entre 100 et 200 mètres. Tandis que le sondage le plus profond avait atteint 310 mètres de profondeur (Mayiba T. et al. 2021). La lithostratigraphie de formations géologiques traversée par ces sondages nous a permis d'établir les différents logs stratigraphiques d'une part et d'autre part nous avons été capables de corréler les différents faciès kimberlitiques du massif de Bakwanga.

En effet, plusieurs sondages carottants de type Diamant Boart (nombre total: 107) ont été réalisés en vue de déterminer la structure du massif kimberlitique de la société Minière de Bakwanga. Partant de ces observations, plusieurs logs ont été établis. Ceux-ci, nous a permis d'avoir une image claire sur l'emboîtement et la superposition de différents faciès kimberlitiques. Les forages ont été foncés sur les profils transversaux et longitudinaux et la maille de ces forages était de 50 x 50 mètres. Sur base de ces données, nous avons créé un modèle géologique vraisemblable, se rapprochant le mieux possible de la réalité. (Mayiba T et al. 2021).

Trois faciès généraux ont été associés au massif kimberlitique de Bakwanga à savoir:

- Le faciès hypabyssal qui se situe à la base sous forme de dykes nourriciers,
- Le faciès de diatrème souvent béchique formant le cône avec des pendages forts jusqu'à 82° et,
- Le faciès de cratère qui montre des roches volcanoclastiques et épicrostiques (Jébrak et Marcoux, 2008)

Ces faciès sont dérivés principalement des kimberlites diamantifères de l'Afrique du Sud (Kjarsgaard, 2007).

2 CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

2.1 CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE

Le massif Kimberlitique de Bakwanga est situé à environ 17 km au Sud-Ouest de la ville de Mbuji-Mayi, dans le territoire de Lupatapata, localité de Bakwa Tshimuna, groupement de Madiatu, district de Tshilengi (Figure 1). Le massif I est circonscrit dans le polygone minier de la société Minière de Bakwanga. Notre secteur d'étude est circonscrit sur une superficie totale de 21 ha et est borné:

- Au Nord par la commune de la Kanshi;
- Au Sud par le village de Luamuela;
- A l'Est par le village de Tshitenge;
- Et à l'Ouest par le territoire de Miabi

Le relief de notre secteur d'étude est un bas plateau, l'altitude varie généralement autour de 600 et 800 m (E. Polinard, 1935). Ce bas plateau a une inclinaison Sud-Nord et présente des surfaces peu accidentées et mollement vallonnées (P. RAUCQ, 1958).

Le climat du Kasai Oriental est type A selon la classification de Koppen. Il s'agit d'un climat tropical humide. La température moyenne annuelle varie de 25°C dans le Nord à 22,5°C dans le Sud de la province. La température diurne du mois le plus froid est supérieure à 18°C. Les variations annuelles des températures sont peu importantes. Leur écart varie entre 1,5 à 2° suivant les saisons (A. Focan et W. Mullenders, 1995).

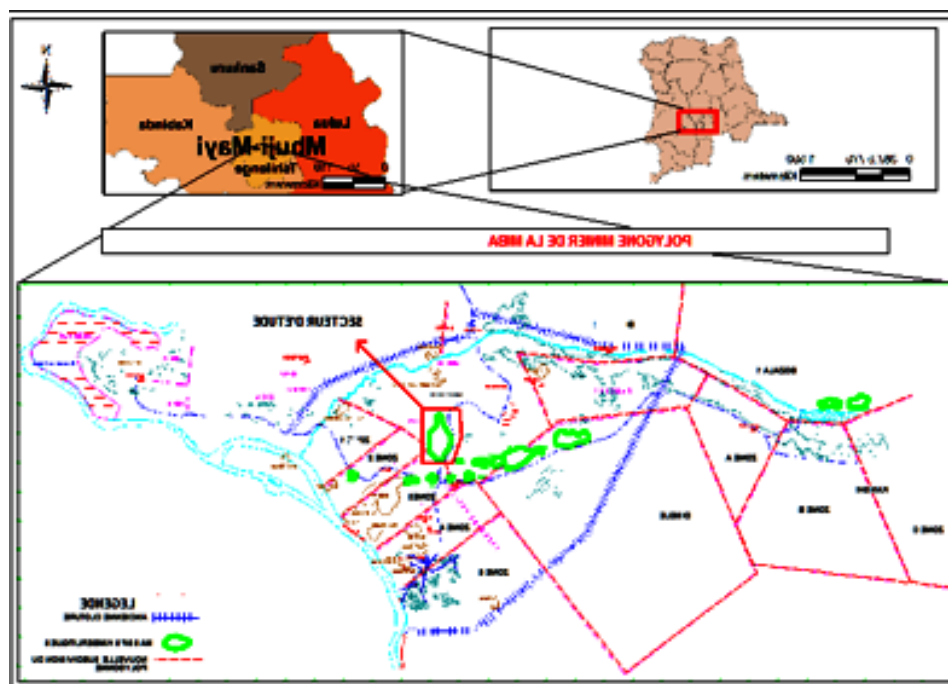


Fig. 1. Carte de localisation du massif kimberlitique I de la minière de Bakwanga

Les études récentes de (A. Kambi, 1984), ont montré que dans la région de Bakwanga, les températures moyennes annuelles ont une tendance à la hausse (l'augmentation varie entre 0,6 et 1°C). Par sa position par rapport à l'équateur, le Kasai-Oriental connaît un climat tropical humide caractérisé par deux saisons à savoir: la saison pluvieuse longue de 6 à 9 mois et la saison sèche de 3 mois.

Les principaux facteurs qui déterminent le climat du Kasai oriental sont la forêt au nord et la savane au centre et au sud.

La végétation luxuriante et variée parsème l'ensemble de la province et est caractérisée au Nord par la forêt équatoriale, au Centre par la savane boisée et au Sud par le prolongement de la savane et de steppes.

L'hydrographie de notre secteur est dominée par deux rivières majeures: Mbuji-Mayi et Kanshi. Ces dernières jouent le rôle d'une véritable colonne vertébrale, étant donné qu'elles traversent le centre de la région du Kasai-Oriental et baigne presque tous les territoires administratifs. Trois réseaux hydrographiques différenciés, étroitement, liés à la géologie de la région sont mise en évidence (A. Kambi, 1984).

2.2 CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le sol de notre secteur est meuble et est Considérée comme étant un produit de l'altération sur place ou presque des formations du substratum et des matériaux des formations de couverture résultant du transport et du dépôt au-dessus du substratum. Parallèlement à ces observations, des matériaux mixtes résultant d'une contamination plus ou moins importante des premiers matériaux par les seconds et enfin des sols latéritiques ont été circonscrits (P. Gilson et L. Liben, 1960).

La géologie de la région est représentée par des sédiments crétacés recouvrant des sédiments protérozoïques principalement la dolomite et un complexe du socle granitique (Cahen L, 1951). Elles sont groupées de manière générale en deux ensembles principaux qui sont de haut en bas: Les formations de couverture qui sont constituées des roches tendres ou meubles constituées des couches subhorizontales et datant du crétacé inférieur et du cénozoïque et le soubassement datant du précambrien et constitué des formations sédimentaires plus au moins plissées, des formations magmatiques et des roches cristallines. (Delhal et al. 1970).

Le soubassement du Super Groupe de Bushimay est constitué par des roches carbonatées, ce super groupe est subdivisé en trois Séries dont deux seulement affleurent au Kasai (P. Raucq, 1975). Le secteur de Bakwanga est parsemé par des roches calcaires et des calcaires dolomitiques ainsi que des grès arkosiques qui est souvent calcaro-feldspathiques ou argileux, de teintes allant de rouges aux mauves (E. Polinard, 1925; L. Cahen, 1951, 1954; P. Raucq, 1956).

Les kimberlites du massif de Bakwanga sont situées dans la partie Nord du noyau central du bloc du Kasai dans le Craton du Congo. Ces kimberlites (70Ma) sont intrusives au sein des sédiments clastiques d'âge Crétacé Supérieur (Cahen L, 1951; J.B. Dawson, 1967; Nvuemba N, 1980; Kampata M, 1993; Batumike, J. M., 2008). La séquence protérozoïque est traversée par des dolérites, qui sont extrusif

dans les basaltes (Polinard E, 1925). Ces formations kimberlitiques sont supposées du même âge que celles reconnues à Mbuji-Mayi, à Bena Kabimba et Bena Boya. (Fiermans C.L, 1975; Kamanji K., 1979).

3 MÉTHODES ET TECHNIQUES

La thématique abordée est basée sur: les travaux préliminaires, les travaux de terrains et l'interprétation des résultats.

3.1 LES TRAVAUX PRÉLIMINAIRES

Les préliminaires ont consisté à rassembler les cartes topographiques du polygone minier auquel appartient le du massif I et nous ont permis à la réalisation la carte topographique de la zone d'étude au 1/10.000. Cette phase était axé également sur la récolte des informations bibliographiques sur le socle précambrien de la région de sous étude et les données sur la Géologie du degré carré de Mbuji-Mayi auquel appartient ce massif kimberlitique.

3.2 TRAVAUX DE TERRAIN

Plusieurs campagnes de sondages sur le de terrain ont été effectuées dans ce massif sous d'étude et ont consisté à:

- Délimiter la zone d'étude à partir de la carte topographique à l'échelle de 1/10.000;
- Identifier et décrire les différents formations rencontrées lors du sondage afin de donner leurs natures ainsi que leurs épaisseurs qui ont été traversées lors du forage;
- Prendre les coordonnées géographiques à l'aide du GPS des différents points forés, dans le but de les situer sur la carte;
- Etablir les logging de différentes carottes de forages et Faire la description macroscopique de couches géologiques rencontrées lors du forage. Les matériels ci-après ont été utilisés sur terrain pour atteindre notre objectif: une boussole géologique, un marteau Géologique, une loupe, un carnet de terrain, les sacs pour les échantillons, un marqueur, un crayon HP, un support carte, des sachets d'emballages, un GPS Garmin 62S

La structure profonde du massif I de la minière de Bakwanga, a été déterminée moyennant 113 sondages carottant diamants Boart (DB), le sondage carottant le plus profond (J10) a atteint 412 mètres, mais la plupart des sondages étaient arrêtés entre 100 et 200 mètres de profondeur. Nous avons également fait recours au logiciel informatique Q.GIS 2.18 pour la réalisation de la carte de localisation des différents points forés, et au logiciel Surfer pour le traçage des graphiques.

4 PRÉSENTATION DE RÉSULTAT

4.1 LITHOSTRATIGRAPHIQUE ET CORRÉLATION

Les différentes formations sédimentaires recoupées se situent dans la brèche kimberlitique (le modèle de l'entre-Kanshi-Bushimaie), nous y observons la succession suivante:

1. **Calcaire dolomitiques et dolomies du niveau C10 du système de la Bushimaie.** Ce sont les formations les plus anciennes qui apparaissent dans la zone et constituent son substratum. Elles se présentent en bancs largement ondulés, plongeant de quelques degrés vers le N-N.E du massif où à fine stratification. Leur coloration est généralement grise, avec les diverses nuances de rose et de mauve
2. **Grès siliceux tendres, violacés, jaunes, bruns, blancs, stratifiés mais généralement béchés.** Lentilles peu étendues d'argilites brunes, Epaisseur plus de 40 mètres
3. **Nappe graveleuse à cailloux et boulders; anguleux ou émoussés de grès silicifiés durs;** parfois, on y rencontre les éléments roulés où en forme de dreikanter. Epaisseur maximum 3 mètres
4. **Limon sableux fin, brun, limoniteux** – Epaisseur; maximum 30 mètres

Il sied de signaler que, le contact latéral entre les grès et les calcaires environnants est généralement très abrupts, d'allure subvertical, ce qui donne l'impression que toute la zone de la languette gréseuse présente un affaissement important (Raucq, P. 1956).

Dans le cadre d'approfondir les connaissances géologiques et la délimité l'étendue du Massif n°1 à la minière de Bakwanga, plusieurs travaux d'exploration souterraine au travers les sondages furent entrepris et ont permis d'avoir certaines données sur les différentes successions de formations géologiques dans ce Massif. De ces dernières, nous avons pu effectuer une étude afin de comprendre leur disposition profonde par la réalisation des coupes géologiques qui nous ont aidées à faire une corrélation sur l'ensemble des forages carottants qui ont été réalisés dont le plus long a environ atteint 412 mètres et a traversé et dépassé le cheminé et le cœur de la masse Kimberlitique.

Le tableau I donne les différentes formations géologiques rencontrées lors du forage le plus long qui est le plus représentatif et résume la géologie du massif sous étude. De haut et en bas, Au fur et à mesure de l'avancement du trépan, nous avons:

Tableau 1. *Log lithostratigraphique du forage de 400 m dans le massif kimberlitique I de Bakwanga*

Niveau ou profondeur creusée	Formations traversées
De 0 à 155 mètres.	Calcaires dolomitiques et dolomies du niveau C10 en bancs Massifs ou finement stratifiés, plongeant de 5° à 15° vers le Nord ou N-N.E montrant par endroits des poches d'effondrement.
De 155 à 165 mètres.	Une poche de dissolution à parois effritées, remplie d'une masse argileuse brune – rouge, contenant d'abondants débris, très altérés, de granite à biotite, provenant de toute évidence de la masse Kimberlitique.
De 165 à 180 mètres.	Calcaires dolomitiques laminés plongeant brusquement vers le Nord de 30° à 50°, zone très disloquée et faillée. Les bancs montrent une nette tectonique d'effondrement.
De 180 à 186 mètres.	Masse argileuse, brun – rouge, riche en débris anguleux de calcaire, contenant des éléments de nombreuses inclusions caractéristiques granite, roches biotitiques très altérés, roches grenatifères, etc., zone très altérée de passage vers la brèche Kimberlitique.
De 186 à 218 mètres.	Brèche Kimberlitique verte ou rouge, altérée, contenant d'importantes enclaves sablo – gréseuses d'allure lenticulaire. Les enclaves sont formées de sable siliceux, brun à peine cohérent ou d'une brèche très tendre, à bloc de grès stratifiés orientées pêle-mêle. L'ensemble est fortement morcelé, souvent laminé et la masse montre une multitude de petites surfaces de glissement, miroitante et striées. Suintements importants.
De 339 à 341 mètres.	Brèche Kimberlitique bleue, à éléments altérés mais fortement cimentés par la calcite secondaire abondante, signes visibles de dislocation.
De 341 à 361 mètres.	Lentille de grès tendre à stratifications horizontales, parallèles au contact, la séparation grès – Kimberlite est assez nette, l'enclave se trouve dans une brèche Kimberlitique verte assez dure, cimentée par la calcite.
De 361 à 412 mètres.	Brèche Kimberlitique verte, dure, cimentée par la calcite secondaire. Les tailles et surfaces de glissement sont fréquentes.

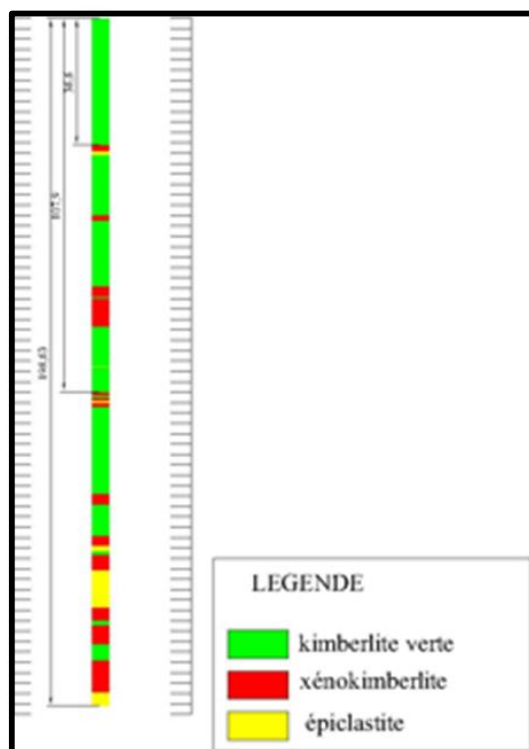


Fig. 2. *Illustration du log*

La réalisation de la lithostratigraphie ainsi que la corrélation du Massif I sous étude a été rendue possible grâce aux différents sondages qui ont été réalisés tout en se référant sur l'échelle stratigraphique régionale. Deux coupes ont été réalisées dont l'une orientée

vers l'Est-Ouest et l'autre suivant la direction Nord-Sud. Cet emplacement est dicté par la meilleure disposition en surface des formations géologiques dans ce massif. Ainsi nous constatons que la Kimberlite roche magmatique ultrabasique du Massif I sont des roches volcano-clastique. Dans ce Massif, la distinction entre la composition des différentes roches volcaniques facilitée par leurs couleurs. Nous avons de haut en bas:

- **Les xéno-Kimberlites**, sont des dépôts faiblement consolidés avec 25% à 50% d'éléments Kimberlitiques de couleur rouge-vert. Ce sont également des brèches hétérogènes à masse de fond prépondérante de sable argileux dans laquelle les éléments Kimberlitiques verts donnent un aspect de Kimberlite rouge au dépôt
- **Les dépôts épicastiques**, contiennent moins de 25% de produits Kimberlitiques. Ils sont typiquement rouges et ne sont pas consolidés; ce ne sont donc pas des roches au sens propre. Généralement, ces dépôts se présentent sous forme de brèches hétérogènes ou une masse de fond prépondérante de sable argileux dans laquelle baignent des gros éléments anguleux de grès et plus rarement des dolomies ou des roches à Kaolin. Leur couleur rouge et compositions sableuse découlent des grès Mésozoïques in consolidés qui étaient des dépôts reposant en affleurement sur les dolomies lors des éruptions Kimberlitique. Ils se sont mélangés aux produits volcaniques en proportions variables
- **Les Kimberlites vertes**, les roches consolidées, aux couleurs variant entre les gris, le vert et le bleu contiennent toujours plus de 50% de produits Kimberlitiques, les éléments lithiques rencontrés dans ces faciès sont principalement des dolomies du soubassement précambrien que l'éruption volcanique avait traversées figures 2 et 3

Cette Kimberlite est parfois appelée « roche transporteuse du diamant » est moyen de transport naturel de ce minéral. Selon (auteur année), Elle a servi à son transport vers la surface, il y a 71 millions d'années depuis le manteau supérieur (150-200Km) ou il s'est formé par cristallisation du carbone sous des très fortes pressions et températures.

Les Kimberlites pyroclastiques sont en contact direct avec l'encaissant dolomitique tout au long de la paroi occidentale et méridionale.

En bordure orientale, elles en sont séparées par une bande de dépôts épi clastiques qui s'étend du niveau d'affleurement 580 jusqu'au niveau 410, sous forme biseau rétréci vers le bas. La cuvette des grès mésozoïque encastrée dans les dolomies, ces dolomies constituent partout l'encaissant du Massif 1 (Raucq, P. 1970).

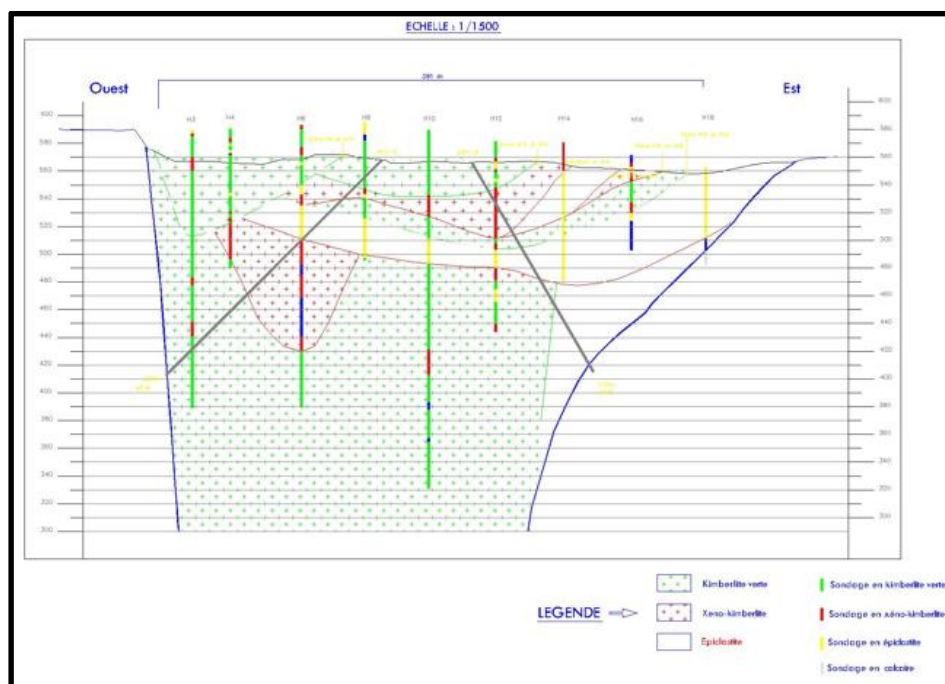


Fig. 3. Section Ouest-Est du massif kimberlitique I de la minière de Bakwanga

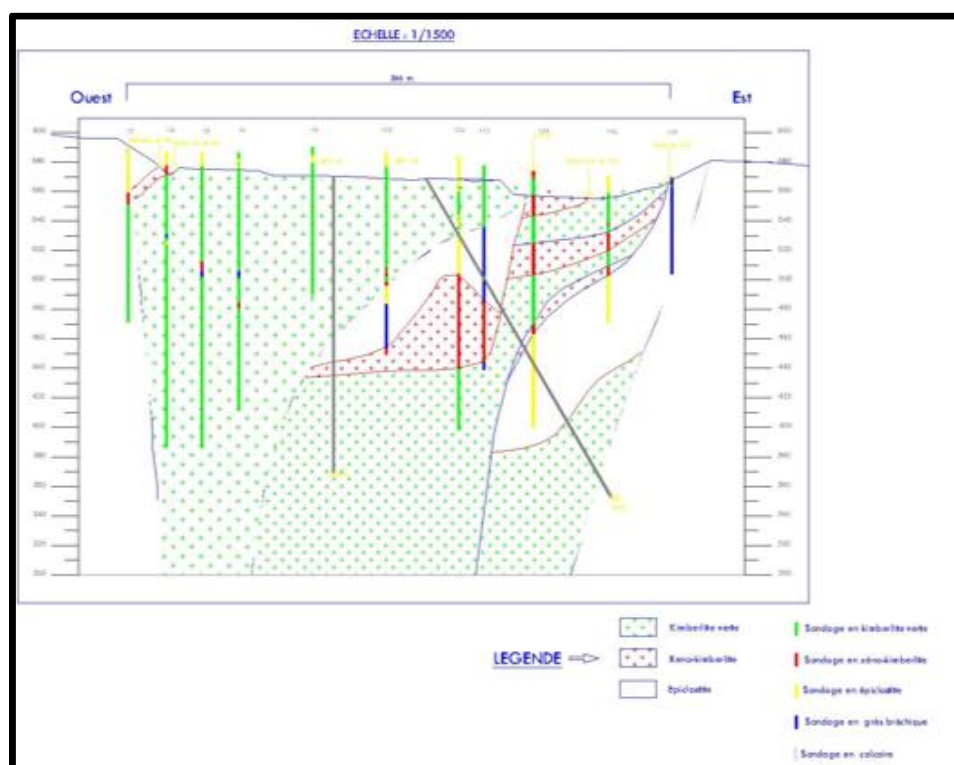


Fig. 4. Section Sud-Nord du massif kimberlitique I de la minière de Bakwanga

Les figures 3 et 4 présentent la corrélation réalisée sur bases données de différents sondages effectués dans ce massif sous études sur base de deux coupes géologiques qui sont orientées W-E.

4.2 DISCUSSION

En ce qui concerne sa structurale, toutes ces formations rencontrées au Massif I présente les pentes assez faibles et peu inclinées. Selon Lepersonne, J. 1974 Le Super groupe de Bushimay, présente deux réseaux d'ondulation et de faille orientée NNE -SSW et SE-NW.

Certains auteurs tels que (10. Fiermans C, 1966 et Dawson J.B., 1967), ont essayés de lier les venues Kimberlitiques à des grandes structures à l'échelle continentale. Ainsi Reiss (1972) voit il a un alignement de plus de 1.600 Km pipe Kimberlitique à partir du S – W de l'Angola jusqu'au Kasai.

Le terrain de couverture se caractérise par un aplatissement généralisé de relief, terrain d'une longue période d'érosion. Cette érosion serait suivie par réajustement responsable du relief régulier à la base du mésozoïque. Après le dépôt des sédiments Aptiens, la seule activité tectonique consiste en des faibles basculements qui inclinent les formations de la région vers le NNE (Fiermans, 1966).

La structure du massif 1 a été déterminée moyennant 107 sondages carottant diamants. Le sondage carottant le plus profond (J10) a atteint 412 mètres, mais la plus part de ces sondages étaient arrêtés entre 100 et 200 mètres de profondeur.

En ce qui concerne la mise en place de ce massif, nous pouvons noter que trois périodes d'éruption se sont succédées, il s'agit d'une principale à plusieurs venues éruptives, suivi d'une deuxième confinée au Nord du massif ainsi qu'une troisième dans son Sud-Ouest (Dawson J.B., 1967). Cette interprétation de cette structure n'est pas seulement importante pour les géologues, mais elle présente aussi un intérêt particulier pour l'exploitant car le teneur en diamant des différents dépôts et phases d'éruption peuvent avoir leurs caractéristiques spécifiques.

La figure 4 montrant l'emplacement de différents sondages effectués dans le massif sous étude.

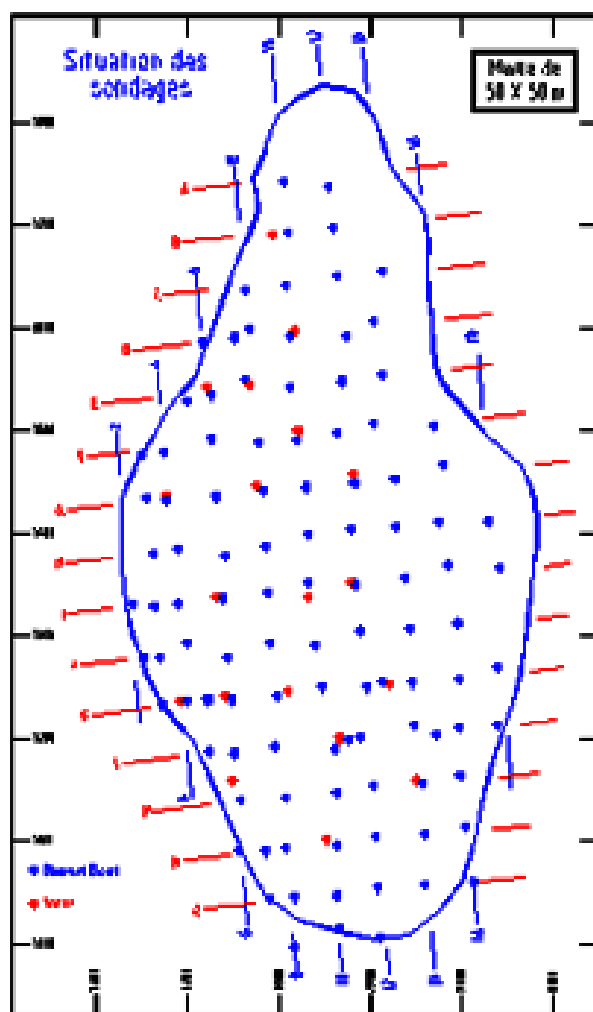


Fig. 5. Positionnement de forages dans le massif kimberlitique I de la minière de Bakwanga

5 CONCLUSION

La première étape dans l'interprétation des structures de ce Massif Kimberlitique a consisté à déterminer la limite du Massif est sa forme en profondeur sa forme est ce qui intéresse en premier lieu le mineur pour l'établissement d'un plan d'exploitation, mais elle est aussi de première importance pour le géologue car cette forme le guide dans l'interprétation géologique des structures du Massif.

L'éruption du Massif 1, à former sont cratère entièrement dans les dolomies, ces dolomies constituent donc partout l'encaissant du Massif. Le Massif 1 a des parois subverticales au Nord-Ouest et Sud ce n'est que dans sa partie orientale que les parois tendent vers une pente de plus ou moins 55°.

L'axe N-S le plus long du Massif mesure environ 800 mètres au niveau d'affleurement actuel de 580 (mètres au-dessus du niveau de la mer). L'axe W-E le plus long est de plus ou moins 450 mètres. Au niveau 580 la surface du Massif 1 est de 23 hectares; elle diminue très progressivement vers 12,5 hectares au niveau 300. Peu de sondages ont atteint l'encaissant dolomitique des sortes qu'il nous été a très difficile d'en déduire la modélisation montrée dans la figure ci-après que nous qualifions de la « plus probable, possible ». A l'Ouest du Massif n°1 nous avons adopté une pente moyenne de 86°, à l'Est nous avons déduit une pente maximale de 55°. Si l'exploitant requiert une connaissance exacte de ces pentes, il sera nécessaire de réaliser certains sondages dans ce but précis. Le mieux serait d'acquérir au préalable les accessoires de forage nécessaires pour effectuer des sondages inclinés.

REFERENCES

- [1] Allard M et Bois D, 1999: La géophysique appliquée à l'exploration minérale, Centre collégial de développement de matériel didactique, Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue, Québec, 352p.
- [2] Boszczuk, Cheng, Hammouche, Roy, Lacroix et Cheilletz, 2011: A 3D gravity data interpretation of the Matagami mining camp, Abitibi Subprovince, Superior Province, Québec, Canada: Application to VMS deposit exploration: Application to VMS deposit exploration. Journal of Applied Geophysics, 75 (1), 77-86p.

- [3] Bultot, F., 1954: Notice de la carte des zones climatiques du Congo Belge et au Rwanda-Uniadi, AC. Moy. Sc. Col, Atlas général du Congo, 33p.
- [4] Cahen, L., 1951: Données nouvelles concernant la géologie et la géomorphologie du Kasai-Oriental, Ann. Soc. Géol. Belg. 122p.
- [5] Cahen, L. 1954: Géologie du Congo belge. Vaillant-Carmanne, Liège, 580 pp.
- [6] Dawson J.B., 1967: Advance in Kimberlite, Earth, SC. Rev, 1971, J, 187 – 214.
- [7] Delhal, J. (1977): Le complexe tonalitique de Kanda Kanda et données géochronologiques comparées des unités Archéennes du Kasai. Mus. Roy. Afr Central, Tervuren (Belg), Dépt. géol. Min., Rapp. Ann.1976, pp 64-83.
- [8] Delhal, J. (1991): Situation géochronologique 1990 du précambrien du Sud Kasai et de l'Ouest du Shaba. Mus. Roy. Afr. Centr, Tervuren (Belg), Dépt. Géol. Min, Rapp. Ann 1989-1990. pp 119-125.
- [9] Duvigneaud P. et J. Leonard, 1953: Carte Schématique des principaux aspects de la végétation au Congo belge, les naturalistes, Belges, 34p.
- [10] Fiermans C.L. 1966: Contribution à l'étude pétrographique de la brèche kimberlitique de Bakwanga, Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain, 92p.
- [11] Fiermans C.L., 1975: géologie des gisements de diamant de Mbuji-Mayi, Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain, 99p.
- [12] Focan, A. et W. Mullenders, 1955: saisons et périodes sèches et plusieurs au Congo Belge, Publ. INEAC.55 p.
- [13] Foucault, A; Raoult, S.F. 1995: Dictionnaire de géologie, éd. Masson, Paris, 4876 p.
- [14] Gilson, P. et L. Liben, 1960: Étude des sols dans le Kasai, Service Géographique Congo-Belge, 66p.
- [15] Jébrak, M. et Marcoux, E., 2008. Géologie des ressources minérales, Ressources naturelles et Faune Québec, Québec, 636 p.
- [16] Kambi, D., 2001: phénomène de ravinement dans la ville de Mbuji-Mayi (Rep. Dém. Congo). géographie, 10-17, ISP.
- [17] Lepersonne, J. 1974: Carte géologique du Zaïre dressée par les géologues du Mus. Roy. Afr. Centre. Et du BGRM sous sa direction. Dessinée au Musée et imprimée à l'I.G.M., Bruxelles.
- [18] Kamanji K., 1979: étude minéralogique et pétrographique des différentes enclaves dans le massif Kimberlitique de Tshibwa. Mém. Lic. Fac. Sc; Univ. Lub 68.
- [19] Kampata M., 1993: Minéralogie et géochimie des Kimberlites du haut plateau de Kundelungu (Katanga, Congo), thèse, Univ. Louvain, 77-88p.
- [20] Kjarsgaard, B. A., 2007: Kimberlite diamond deposits, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5, p.245-272.
- [21] Kpirgbéne W, 2016: Cartographie géologique par méthode magnétique aéroportée: application à deux zones de la région de l'Abitibi- témiscamingue, mém. Univ. Québec, 153p.
- [22] Mayiba T. et Kabeya D.: Géomodélisation en D2 et structure géologique du massif kimberlitique 1 de la société minière de Bakwanga dans le Kasai- Oriental (RDC), janvier-avril 2021, Pistes Africaines, vol. 11, n° 1, pp. 49-62.
- [23] Mutombo H, 2013: Ebauche d'évaluation des ressources kimberlitique de Kabimba, Cahier de l'Univeristé Officielle de Mbuji-Mayi, n°5, 113-151p.
- [24] Polinard, E. 1925: Constitution géologique des régions de la Bushimaie et de la Lubi aux confins de la Province Congo-Kasai et Katanga. Ann. Soc. Géol. Belg., Publ. Rel. C. B., 52, 4, C. 179-218.
- [25] Polinard, E. 1935: La géographie physique de la région du Lubilash, de la Bushimaie et de la Lubi vers le 6° parallèle Sud. Mém. Inst. Roy. Col. Belge, sc. nat. et méd., in-4°, 4, 1, 31pp.
- [26] Raucq, P. (1956): Coupe dans le Mésozoïque de la région de Bakwanga -Kasai, Congo belge. Ann. Soc. Géol. Belg., 79, B. 249-276 pp.
- [27] Raucq, P. (1970): Nouvelles acquisitions sur le système de la Bushimay. Ann. Mus. Roy. Afr. Centr., Tervuren, Belg. n°69,156p.
- [28] Raucq, P. (1975), Succession des évènements géologiques de système de Bushimay, Géol. Congo, 214p.
- [29] Nvuemba N, (1980): Minéralogie des mégacristaux, des xénolites écolitiques et granulitiques et des inclusions minérales dans les diamants provenant de la kimberlite du Kasai-Oriental (Congo), thèse, Univ. Louvain, 44-67p.

Analyse structurale des formations carbonatées d'âges protérozoïque dans le secteur de Mpumbu au Sud-Ouest de Mbuji-Mayi (Kasaï-Oriental, RD Congo)

[Structural analysis of carbonate formations of Proterozoic age in the Mpumbu sector South-West of Mbuji-Mayi (Kasaï-Oriental, DR Congo)]

Crispin Musambayi¹, Télésphore Mayiba¹, Albert Kalau², Divin Tshimanga³, Elie Tshinguli⁴, Maclin Kabemba¹, Seth Ntumba⁵, Mersa Kabangu⁶, and Sabbat Munyemba⁷

¹Université Officielle de Mbuji-Mayi, RD Congo

²Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Kolwezi, RD Congo

³Université de Lubumbashi, RD Congo

⁴Université de Kolwezi, RD Congo

⁵Institut Supérieur Pédagogique, Katanda, RD Congo

⁶IBTP, Mbujimayi, RD Congo

⁷Géologue et chercheur indépendant, RD Congo

Copyright © 2023 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: One of the main objectives of structural geology is to describe the different microstructures, to understand the origin and distribution of the forces that generated them on the spatio-temporary level. Building on this momentum, a structural study was carried out on geological formations of Proterozoic age in the locality of Mpumbu, Lupatapata territory, Kasai Oriental province of the Democratic Republic of the Congo. This area is mainly crisscrossed by sedimentary formations belonging to the Bushimay supergroup. This sedimentary sequence is unaffected by regional metamorphism while highlighting two distinct successive components: sedimentary and metamorphic. The locality of Mpumbu is full of the following formations: sandstone, dolomitic limestone and shale. Brittle and planar deformations affect the majority of rocks and attest to the compressive stresses typical of this terrain. We solved the problem using Win-tensor software. Two preferential orientations of breaks have been exposed: North-South and East-West. The stress study revealed that the main stress initiating the observed deformations is oriented N57° and is inclined by 3°. Apart from the deformation, a chronological study was revealed: the breaks oriented preferably East-West intersected or often offset by a North-South oriented detachment prove their anteriorities compared to the last. Finally, a slight tilt to the north or northwest of different Mpumbu formations indicates that the region has undergone a certain inclination to the tertiary during the kimberlite intrusion of the various kimberlites in the perimeter of Bakwanga.

KEYWORDS: Deformations, carbonates, Proterozoic, Bushimay, Mpumbu.

RESUME: L'un des grands objectifs de la géologie structurale est celui de décrire les différentes microstructures, de comprendre l'origine et la distribution des forces les ayant engendrées sur le plan spatio-temporaire. Partant de cette lancée, une étude structurale a été réalisée sur les formations géologiques d'âge protérozoïque dans la localité de Mpumbu, territoire de Lupatapata, dans la province du Kasaï oriental en République démocratique du Congo.

Ces formations géologiques sont principalement sédimentaires et appartiennent au super groupe de Mbujimayi qui est une séquence sédimentaire non affecté par le métamorphisme régional et se composant de deux successions distinctes la série inférieure BI et la série supérieure BII dont le sommet est coiffé avec les venues basaltiques postérieures. Le site étudié regorge les formations géologiques telles que le grès, le calcaire dolomitique et le shale. Les déformations cassantes planaires affectant les roches de cette localité attestent les phases compressives qu'a connu cette région, comme l'étude des contraintes effectuée à l'aide du logiciel Win-tensor le confirme. Deux orientations préférentielles des cassures se recoupant (N-S et E-W) expliqueraient deux phases de déformation locales qui, chronologiquement, les cassures orientées préférentiellement E-W recoupées et souvent décalées ou décrochées par celles orientées N-S semblent antérieures aux dernières. L'étude des contraintes a révélé que la contrainte principale initiatrice des déformations observées est orientée N57°E et est inclinée de 3°. L'ensemble des observations décrites et analysées plaident au rattachement de l'origine de ces cassures aux faibles basculements que la région a subi et ayant incliné la région vers le Nord ou le Nord-Ouest ainsi qu'à l'intrusion kimberlitique qui a eu lieu dans le périmètre de Bakwanga au tertiaire.

MOTS-CLEFS: Déformations, carbonatées, protérozoïque, Bushimay, Mpumbu.

1 INTRODUCTION

Le site étudié est principalement sillonné par les formations sédimentaires appartenant au supergroupe de Bushimay (L. Cahen, 1970; P. Raucq, 1957, 1970, F. Delpomdor, 2014; Baludikay et Al. 2018; E. Kadima, 2012). Cette séquence sédimentaire est non affectée par le métamorphisme régional et se compose de deux successions distinctes notamment: la série inférieure BI qui est essentiellement siliclastique et la série supérieure BII, essentiellement carbonatée, dont le sommet est coiffé avec les venues basaltiques qui lui sont postérieures.

Les connaissances pétrographiques, stratigraphiques et même sur la structure générale des roches du super groupe de Mbujimayi sont présentées par plusieurs auteurs dont L. Cahen, 1970; P. Raucq, 1957, 1970, F. Delpomdor, 2014; Baludikay et Al. 2018. La tectonique dans le Bushimayien dénote une signature très complexe (Ungu R.D et Malu wa Kasanda GIAN, 2020) ce qui fait que l'importance des effets orogéniques est toujours sujette d'étude dans cette partie du grand bassin du Congo.

Le supergroupe de Bushimay est subdivisée en deux séquences distinctes (Raucq, 1957, 1970; Baludikay et Al. 2018):

- Une séquence silicoclastique inférieure d'environ 500m d'épaisseur du groupe BI reposant sur le socle archéen,
- et une séquence supérieure des carbonates d'environ 1000m d'épaisseur avec des accumulations stromatholiques et des schistes noires du groupe BII directement recouverts des laves basaltiques

Selon les considérations globales, Xu (2004) et D. Delvaux (2016) stipulent que la croûte terrestre manifeste les contraintes de plusieurs façons, et que chaque contrainte contrôle la formation de structures géologiques (telles que les fractures et les plis). Et que La récolte de roches fracturées contient des informations sur les différentes conditions de contraintes qui ont agi pendant les étapes de déformation.

La région sous étude a subi une tectonique cassante, la mise en évidence de ces structures tectoniques contribue à la reconstitution de l'histoire géologique et tectonique locale de cette partie du bassin bushimayien.

La présente analyse structurale permet de relever succinctement le contexte structural de la localité de Mpumbu en la situant par rapport au contexte tectonique régional.

L'objectif est de déceler toutes les microstructures ayant affecté les roches de Mpumbu, les repérer géométriquement, les analyser, les traiter et les situer par rapport au contexte tectonique régional.

2 CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

Le secteur de Mpumbu est localisé au Sud-Ouest de la ville de Mbujimayi dans le territoire de Lupatapata (Figure 1). Il est limité:

- Au Nord par le polygone minier de la minière de Bakwanga (MIBA),
- Au Sud par la source Tshimbuaka,
- A l'Est par le prolongement de la rivière Mbuji-Mayi et,
- A l'Ouest par les groupements de Bena Tshishimbi, Bena Tshiamanga et Bena Tshiabayembi

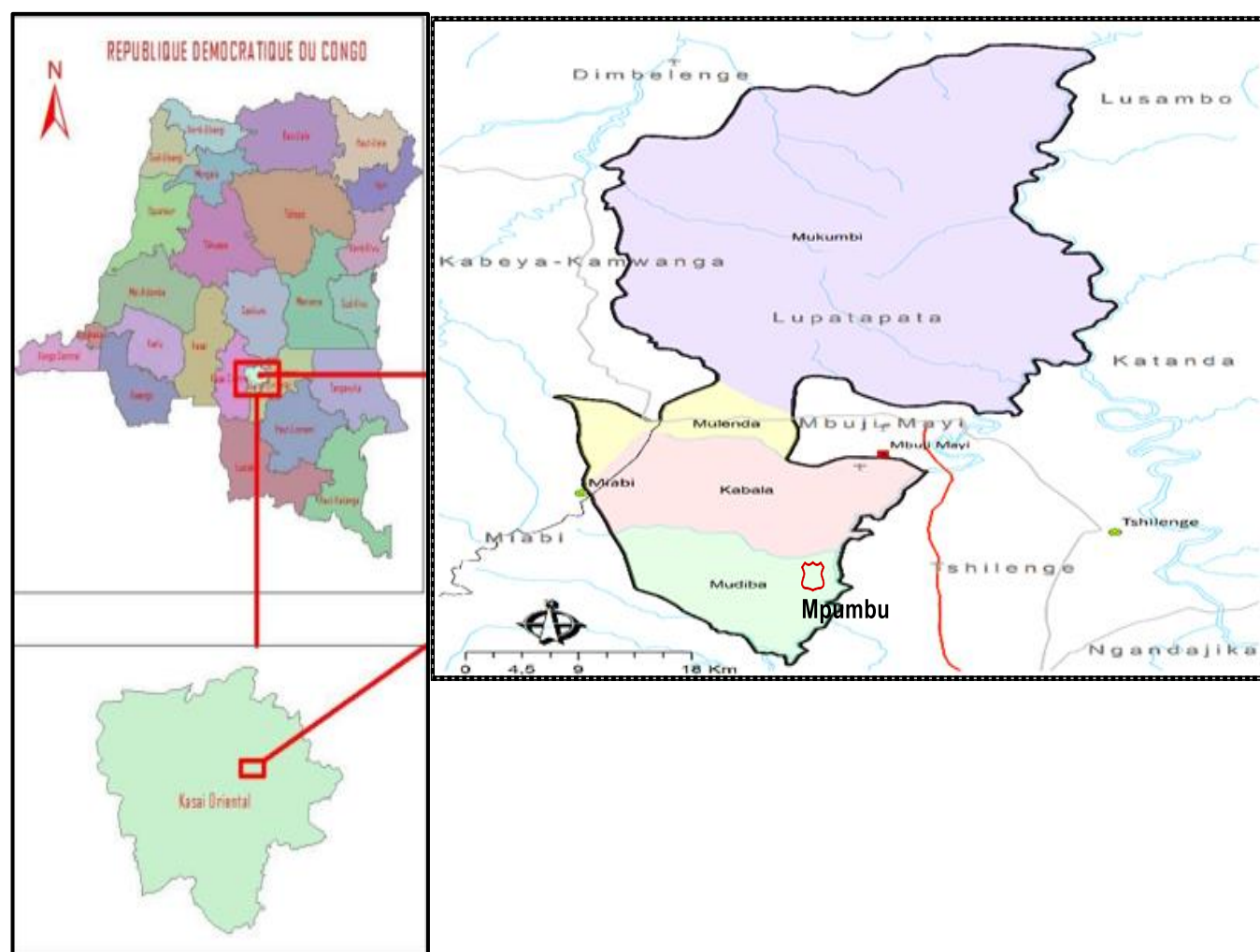


Fig. 1. Carte de localisation du secteur de Mpumbu

Du point de vue géologique, le site sous étude appartient à une région où les formations qui s'observent sont groupées de manière générale en deux ensembles principaux qui sont:

1. Les formations de couverture qui sont constituées des roches tendres ou meubles, faibles, des couches subhorizontales et datant crétacé inférieur et du cénozoïque et;
2. Les formations du soubassement datant du précambrien et constitué des *formations sédimentaires plus ou moins plissées*, des *formations métamorphiques* et des *roches cristallines* (L. Cahen, E. Polinard, P. Raucq, 1957)

La lithostratigraphie de la région, de l'archéen à l'actuel (P. Raucq1970 et F. Delpomdor et al, 2018) se présente de la manière suivante:

- Formations granitiques archéennes
- Formations du groupe de Bushimay inférieur
- Formations du groupe de Bushimay supérieur
- Formations de laves basaltiques
- Formations récentes

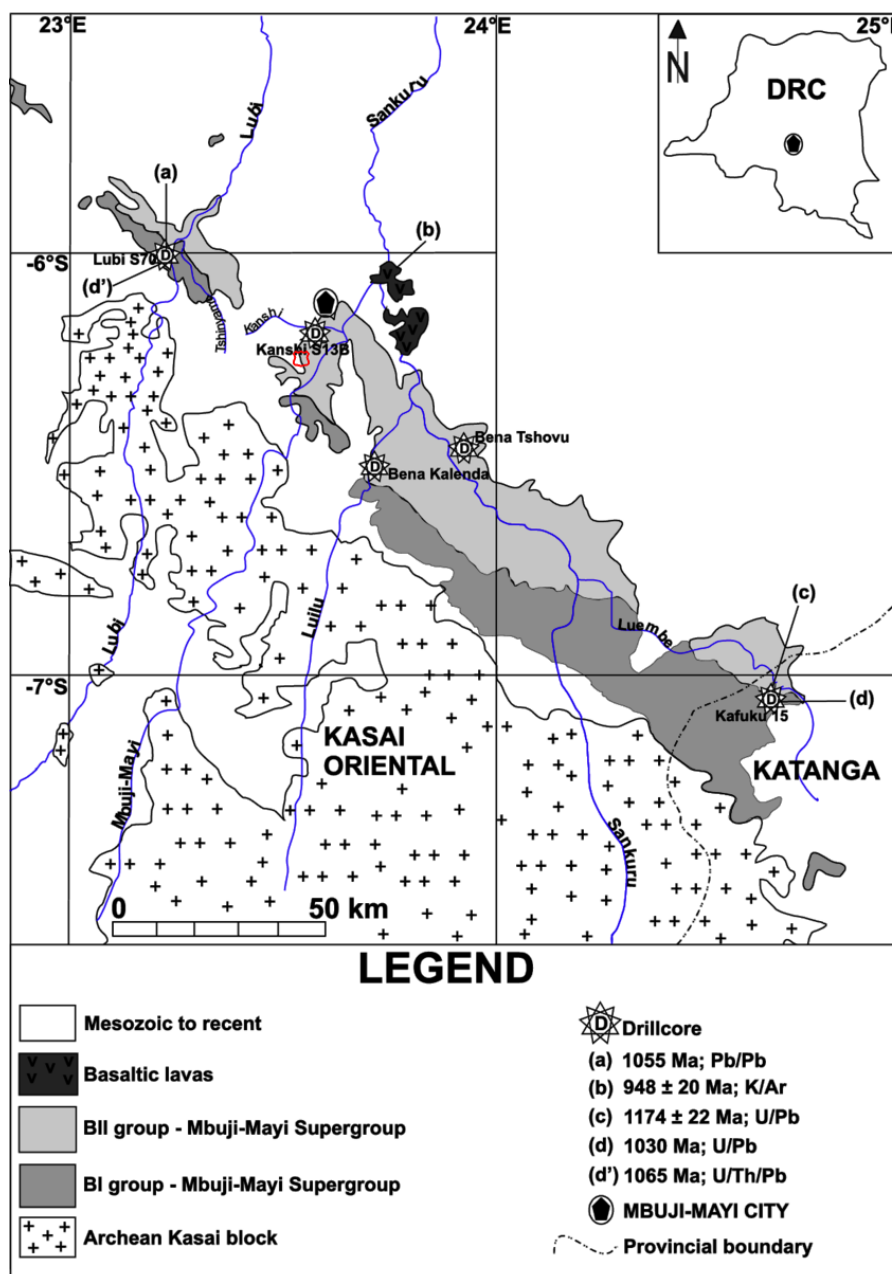


Fig. 2. Carte géologique simplifiée du Super groupe de Mbuji-Mayi d'après Delpomdor et Al., 2018

3 MÉTHODES ET MATÉRIELS

L'approche méthodique adoptées se basent sur les travaux de terrain et les travaux au laboratoire.

Sur terrain, nous avons décrit macroscopiquement les lithologies rencontrées et les microstructures qui les affectent. Ces descriptions ont porté sur la structure de l'affleurement, le degré d'altération, le degré de fissuration, la présence ou non des fossiles ainsi que la granulométrie.

Les matériaux utilisés sont:

- Une boussole de géologue (de marque topochex's) pour la mesure des directions et pendage des formations géologiques,
- Une loupe de grossissement
- Un GPS marque Garmin 62S pour la localisation des éléments repérés,
- Un carnet de terrain et des crayons indélébile

A cette étape sera effectué le repérage géométrique des éléments structuraux rencontré sur les roches du secteur de Mpumbu.

Au bureau, l'ensemble des cassures relevées sur terrain a été traité à l'aide du logiciel Win-tensor 5.8.2 performé par Damien Delvaux. Ce programme a permis de faire l'analyse structurale des données contenues dans le tableau 2. Ce traitement a consisté en la détermination de réseaux des cassures, des directions préférentielles des directions des cassures et pendages, ensuite, l'étude des contraintes ayant agi sur le site.

4 PRINCIPALES STRUCTURES ET DÉFORMATION

4.1 LITHOLOGIE DE LA LOCALITÉ DE MPUMBU

La lithologie de la région de Mpumbu est majoritairement constituée de formations sédimentaires à savoir: le grès, le calcaire dolomitique et le shale.

Tableau 1. *La lithologie du supergroupe de Bushimay dans le secteur de Mpumbu*

N°	FORMATIONS	DESCRIPTION
01		Affleurement d'une roche carbonatée en place moyennement fissurée, ayant de nodule de concrétion contenant de la calcite et du quartz cristallisé et de forme circulaire
02		Roche dure et non stratifiée, moyennement altérée, de couleur gris foncé à noir, avec absence des nodules de concrétions et est faiblement couverte par la végétation herbeuse.
03		Le grès de couleur jaune à brune, en raison de la présence de limonite (terme regroupant un ensemble d'hydroxydes de fer)

4.2 LES DIACLASES ET LES JOINTS

Généralement, les diaclases comme les joints sont des cassures des roches sans déplacement relatifs des parties séparées (Guy L. Shungu, 2018). Ces structures sèches ont été observées, décrites et repérées dans la localité de Mpumbu; elles affectent presque toutes les roches qui affleurent.

147 mesures des joints et diaclases ont été consignées dans le tableau 2.

Tableau 2. Mesures des joints et diaclases de Mpumbu

Coordonnées géographiques			Mesures structurales		
Longitude (E)	Latitude (S)	Altitude (m)	Direction	Pendage	Lithologie
0785307	9311694	569m	N170°E	63°WSW	R. Carbonatée
			N110E	28°SW	R. Carbonatée
			N70E	30°SSE	R. Carbonatée
0785898	9311701	570m	N90°E	86°SSE	R. Carbonatée
			N10E	70°SE	R. Carbonatée
			N100E	59°SW	R. Carbonatée
0785895	9311702	572m	N98°E	70°SW	R. Carbonatée
			N98E	70°SW	R. Carbonatée
			N178E	79°WSW	R. Carbonatée
			N110E	68°SW	R. Carbonatée
0785898	9311702	572m	N90°E	7°SSE	R. Carbonatée
0785897	9311704	574m	N92°E	7°SW	R. Carbonatée
0785893	9311705	573m	N97°E	67°SW	R. Carbonatée
0785893	9311704	574m	N90°E	42°SSE	R. Carbonatée
			N86E	59°SSE	R. Carbonatée
0785890	9311704	574m	N90°E	86°SSE	R. Carbonatée
			N86E	59°SSE	R. Carbonatée
0785887	9311715	574m	N172°E	63°WSW	R. Carbonatée
			N10E	60°SE	R. Carbonatée
0785892	9311715	574m	N178°E	8°WSW	R. Carbonatée
			N97E	71°SW	R. Carbonatée
0785883	931171	574m	N90°E	45°SSE	R. Carbonatée
			N170E	42°WSW	R. Carbonatée
			N100E	74°SW	R. Carbonatée
0785876	9311709	574m	N90°E	62°SSE	R. Carbonatée
0785876	9311705	574m	N170°E	10°WSW	R. Carbonatée
			N100E	20°SW	R. Carbonatée
0785863	9311680	571m	N100°E	10°SW	R. Carbonatée
			N176E	10°WSW	R. Carbonatée
			N100E	18°SW	R. Carbonatée
			N100E	10°SW	R. Carbonatée
			N180E	20°WSW	R. Carbonatée
0785862	9311665	570m	N110°E	60°SW	R. Carbonatée
			N20E	40°SE	R. Carbonatée
0785858	9311667	572m	N160°E	80°WSW	R. Carbonatée
			N160E	8°WSW	R. Carbonatée
			N158E	8°WSW	R. Carbonatée
			N157E	7°WSW	R. Carbonatée
			N155E	6°SW	R. Carbonatée
			N159E	8°WSW	R. Carbonatée
			N158E	9°WSW	R. Carbonatée
0785859	9311663	572m	N16°E	66°SE	R. Carbonatée
			N170E	63°WSW	R. Carbonatée
			N140E	46°SW	R. Carbonatée
			N100E	78°SW	R. Carbonatée

0785865	9311660	571m	N180°E	69°WSW	R.Carbonatée
			N90°E	52°SSE	R.Carbonatée
0785760	9311595	562m	N179°E	70°WSW	R.Carbonatée
0785763	9311595	562m	N18°E	83°SE	R.Carbonatée
			N140°E	67°SW	R.Carbonatée
0785779	9311586	561m	N130°E	60°SW	R.Carbonatée
0785799	9311543	560m	N140°E	75°SW	R.Carbonatée
			N178°E	6°WSW	R.Carbonatée
			N176°E	5°WSW	R.Carbonatée
0785800	9311542	560m	N175°E	7°WSW	R.Carbonatée
			N177°E	12°WSW	R.Carbonatée
			N171°E	20°WSW	R.Carbonatée
			N174°E	8°WSW	R.Carbonatée
			N176°E	8°WSW	R.Carbonatée
			N178°E	9°WSW	R.Carbonatée
			N75°E	61°SSE	R.Carbonatée
			N74°E	60°SSE	R.Carbonatée
			N75°E	62°SSE	R.Carbonatée
			N76°E	61°SSE	R.Carbonatée
			N74°E	61°SSE	R.Carbonatée
			N78°E	61°SSE	R.Carbonatée
			N71°E	60°SSE	R.Carbonatée
			N75°E	63°SSE	R.Carbonatée
			N77°E	62°SSE	R.Carbonatée
			N75°E	63°SSE	R.Carbonatée
			N170°E	12°WSW	R.Carbonatée
			N70°E	11°SSE	R.Carbonatée
0785813	9311525	560m	N180°E	14°WSW	R.Carbonatée
			N170°E	11°WSW	R.Carbonatée
			N90°E	20°SSE	R.Carbonatée
			N89°E	19°SSE	R.Carbonatée
			N88°E	21°SSE	R.Carbonatée
			N86°E	20°SSE	R.Carbonatée
			N90°E	20°SSE	R.Carbonatée
0785816	9311523	561m	N160°E	19°WSW	R.Carbonatée
			N163°E	20°WSW	R.Carbonatée
			N161°E	18°WSW	R.Carbonatée
			N164°E	20°WSW	R.Carbonatée
			N165°E	23°WSW	R.Carbonatée
0785817	9311520	561m	N140°E	21°SW	R.Carbonatée
			N110°E	9°SW	R.Carbonatée
0785816	9311519	563m	N170°E	21°WSW	R.Carbonatée
			N173°E	20°WSW	R.Carbonatée
			N174°E	23°WSW	R.Carbonatée
			N172°E	26°WSW	R.Carbonatée
0785818	9311520	561m	N180°E	24°WSW	R.Carbonatée
			N12°E	5°SE	R.Carbonatée
			N13°E	4°SE	R.Carbonatée

0785818	9311517	561m	N15°E	7°SE	R.Carbonatée
			N80°E	10°SSE	R.Carbonatée
			N60°E	9°SE	R.Carbonatée
			N170°E	20°WSW	R.Carbonatée
0785822	9311519	560m	N176°E	21°WSW	R.Carbonatée
795423	9320600	499m	N162°E	46°WSW	R.Carbonatée
0785807	9311651	490m	N80°E	25°SSE	R.carbonatée
			N81°E	30°SSE	R.carbonatée
			N5°E	16°SE	R.carbonatée
			N90°E	46°SSE	R.carbonatée
			N1°E	40°SE	R.carbonatée
			N81°E	50°SSE	R.carbonatée
			N82°E	50°SSE	R.carbonatée
0785805	9311642	562m	N0°E	50°SE	R.carbonatée
			N95°E	16°SW	R.carbonatée
			N2°E	18°SE	R.carbonatée
			N82°E	20°SSE	R.carbonatée
			N83°E	46°SSE	R.carbonatée
			N2°E	46°SE	R.carbonatée
			N4°E	40°SE	R.carbonatée
			N83°E	27°SSE	R.carbonatée
			N5°E	25°SE	R.carbonatée
			N84°E	15°SSE	R.carbonatée
			N5°E	21°SE	R.carbonatée
			N84°E	21°SSE	R.carbonatée
0785853	9311590	547m	N85°E	15°SSE	R.carbonatée
			N0°E	21°SE	R.carbonatée
			N6°E	18°SE	R.carbonatée
			N85°E	17°SSE	R.carbonatée
			N86°E	28°SSE	R.carbonatée
			N4°E	30°SE	R.carbonatée
			N7°E	23°SE	R.carbonatée
			N86°E	30°SSE	R.carbonatée
			N87°E	66°SSE	R.carbonatée
			N5°E	14°SE	R.carbonatée
0785847	9311568	564m	N7°E	70°SE	R.carbonatée
			N88°E	40°SSE	R.carbonatée
			N8°E	40°SE	R.carbonatée
			N87°E	14°SSE	R.carbonatée
			N9°E	50°SE	R.carbonatée
			N88°E	42°SSE	R.carbonatée
			N89°E	26°SSE	R.carbonatée
			N12°E	20°SE	R.carbonatée
			N10°E	23°SE	R.carbonatée
			N89°E	20°SSE	R.carbonatée
			N80°E	30°SSE	R.carbonatée
			N11°E	14°SE	R.carbonatée
			N88°E	12°SSE	R.carbonatée

0785798	9311555	554m	N83°E	27°SSE	R.carbonatée
			N9°E	32°SE	R.carbonatée
			N10°E	19°SE	R.carbonatée
			N85°E	10°SSE	R.carbonatée
			N12°E	11°SE	R.carbonatée
			N89°E	20°SSE	R.carbonatée

4.3 TRAITEMENT ET INTERPRÉTATION DES DONNÉES DES CASSURES

4.3.1 TRAITEMENT STATISTIQUE

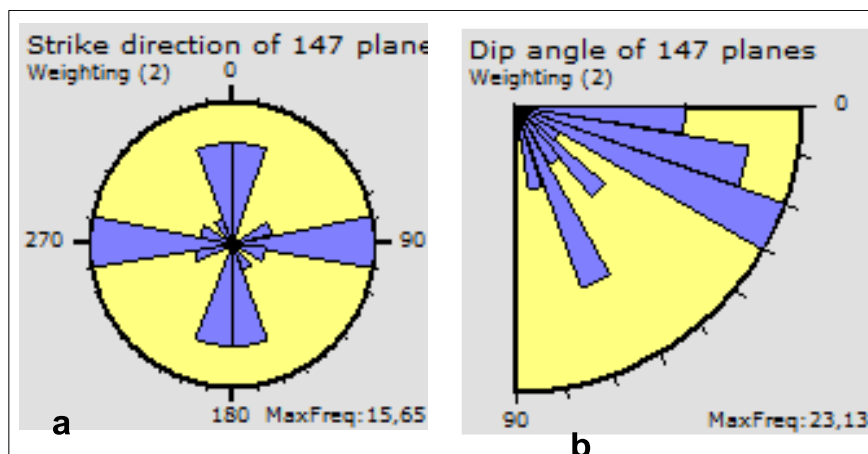


Fig. 3. Rosace des fréquences des plans des cassures et leurs pendages

Après analyse de cette rosace des fréquences, deux faits majeurs découlent de nos observations et interprétations.

- Plusieurs directions ont été observées. Les directions prépondérantes sont orientées NNE-SSW (N0°-20°E) et W-E (N80°-110°E). Ces deux directions sont les directions privilégiées de la plupart de cassures ayant affectées les roches carbonatées de Mpumbu (Figure 3a)
- La majorité de pendages des différentes cassures est comprise entre 20 et 30°; et quelques pendages supérieurs à 70° ont également été observés à Mpumbu

4.4 DÉCROCHEMENT

A Mpumbu, en plus des cassures observées et présentées ci-haut, **un décrochement surtout horizontal a été observé**. Un décrochement, appelé aussi faille décrochant ou faille coulissante, est une faille souvent verticale, le long de laquelle deux compartiments rocheux coulisent horizontalement l'un par rapport à l'autre. En d'autres termes, **un décrochement est une fracture discontinue de cisaillement avec déplacement**.

Dans le cas d'espèce, **cette déformation a été matérialisée in situ par des cassures antérieures au secondes mais ces dernières cassures coulissent la première** (longitude 078586, latitude 9311665, altitude 570). **Son rejet est d'environ 1cm** et la direction majeure de ce plan est N 180°E / 20°SE.

Le compartiment opposé coulisse de la droite vers la gauche, il s'agit bel et bien d'un **décrochement senestre**. Cette déformation a été observée la formation sur une roche carbonatée appartenant au Bushimaïen (Figure 4).

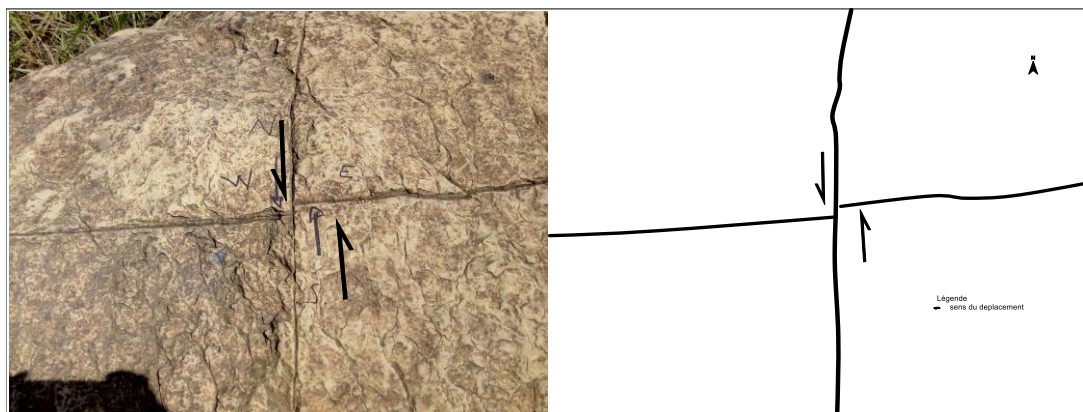


Fig. 4. *Décrochement senestre dans la formation carbonatée du Bushimay dans la localité de Mpumbu*

4.5 ETUDE DES CONTRAINTES

D'une manière générale, les contraintes associées aux déformations tectoniques de grande ampleur ont trois origines possibles:

- a) Les forces appliquées en bout de plaque contrebalancées par la résistance visqueuse sous les plaques,
- b) Les hétérogénéités de densité à l'intérieur des plaques, à moins de 150 km de profondeur,
- c) Les hétérogénéités de densité situées profond dans le manteau terrestre. Dans le cas d'une convection à deux couches dans le manteau terrestre, cette dernière source de contrainte est moins importante que les deux premières

Concrètement, les cassures apparaissent à la satisfaction de deux conditions: qu'il y ait une contrainte suffisante et que la roche soit dure.

Ce point constitue une des étapes très importantes de cette étude structurale car il détaille les différentes forces qui ont été à la base des différentes déformations sur notre terrain d'étude.

Les fractures conjuguées de Mpumbu, nous ont permis de mettre en évidence les directions des contraintes ayant généré les différentes déformations rencontrées in situ. Il s'agit des fractures sans déplacement issue d'une tectonique cassante et qui se recoupent les unes les autres. La lecture des tenseurs de contraintes sur le diagramme générées par le logiciel Win-Tensor (Figure 5), nous révèle trois directions à savoir:

- La contrainte σ_1 orientée N53°E avec une inclinaison 3°,
- σ_2 est orientée vers N144°E avec une inclinaison 2°, et
- σ_3 est orientée vers N90°E avec une inclinaison 86°

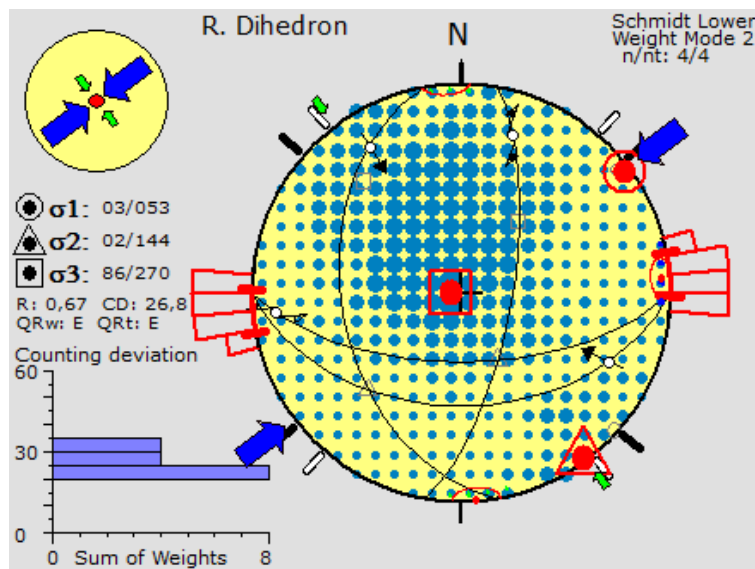


Fig. 5. Les tenseurs de contraintes: σ_1 est dirigée vers N053°E / de 3°SE, σ_2 est orientée vers N144°E / 2°NE, σ_3 est orientée vers N90°E / 86°N

5 DISCUSSION ET CONCLUSION

Du point de vue lithologique, une seule famille des roches a été mise en évidence, il s'agit des roches sédimentaires représentées par les grès, le calcaire dolomitique et les shales.

Du point de vue structural, la région étudiée appartient à une vaste structure synclinale à axe orienté NW-SE résultat d'une tectonique compressive. Les mesures des plans de cassures et leurs projections sur les canevas stéréographiques nous ont permis d'identifier 2 grands réseaux de cassures qui se recoupent.

La séquence des événements peut être reconstruite de la manière suivante: Le socle carbonaté étant mis en place au proterozoïque, il a connu une première phase de déformation **D1** dont la direction préférentielle des cassures est N-S. Ces roches affectées par **D1** ont été reprises par une seconde phase de déformation **D2** dont la direction préférentielle des cassures est E-W, décalant les cassures de la **D1** en donnant naissance par endroit à des décrochements.

L'étude des contraintes a révélé que la contrainte principale σ_1 initiatrices de ces deformations observées sur le plan local est orientée N57° avec une inclinaison de 3°. La contrainte minimale (N270° avec une inclinaison de 86° suivant une direction W-E) et intermédiaire (N44° avec une inclinaison de 2°)

Sur le plan regional et selon P.RAUCQ, 1970; il est admis qu'en cours de sédimentation, diverses déformations sont intervenues pour modifier la répartition des sédiments et provoquer le développement de brèches intraformationnelles. C'est Ainsi que le conglomérat polygène Bilb3 est peut-être lié à une ride ayant le caractère d'une cordillère, encore qu'on ne puisse la déceler dans l'étendue étudiée.

P.Raucq fait remarqué que Appliquées sur un socle granitique rigide, les couches doivent avoir subi des efforts de poussée conduisant au développement de plis à grand rayon de courbure, discontinus, d'axes sud-ouest-nord-est, c'est-à-dire grossièrement parallèles à la direction kibarienne.

La contrainte principale iniatrice des deformations déterminée à partir de l'étude des contraintes faite dans la region étudiée est orientée NE-SW. Cette orientation correspond à celle des efforts perpendiculaires indépendants qui ont fait naître des ondulations d'axes NW-SE; qui ont affecté le flanc sud de la cuvette synclinale.

Il est aussi admis qu'ultérieurement, et sans doute avant le dépôt du Mésozoïque, le bassin de la Bushimay ou le Bassin de Sankuru-Mbujimayi-Lomami-Lovoy si on empruntait le terme de Franck Delpomdor, a été le siège de quelques failles; il semble y avoir eu prédominance de la descente des compartiments sud.

L. Cahen et G. Mortelmans, 1947; J. Lepersonne, 1973, demontrent que le traitement statistique des allures des couches relevées dans la région de Mbujimayi montre le développement des plis à grand rayon de courbure d'axe SW – NE et une vaste structure synclinale d'axe NW – SE.

L'ensemble des observations décrites et analysées plaident au rattachement de l'origine de ces cassures aux faibles basculements que la région a subi et ayant incliné la région vers le Nord ou le Nord-Ouest et ces efforts tectoniques peuvent être rattachés à la phase tectonique responsable de la naissance des ondulations d'axe NW-SE qui ont affecté le flanc Sud de la cuvette synclinale ainsi qu'à l'intrusion kimberlitique qui s'est mise en place au tertiaire, dans le périmètre de Bakwanga.

Nous affirmons comme Xu (2004) et D. Delvaux (2016) que la croûte terrestre manifeste les contraintes de plusieurs façons, et que chaque contrainte contrôle la formation de structures géologiques (telles que les fractures et les plis). Et que La récolte de roches fracturées contient des informations sur les différentes conditions de contraintes qui ont agi pendant les deux étapes de déformation fragile.

REFERENCES

- [1] Alain Foucault, Jean-François Raoult, Dictionnaire de Géologie, Paris, Dunod (collection Univers Sciences), pp. 60, 2010.
- [2] Angelier, J. (1994), fault slips Analysis and paleostress reconstruction.in hancock, P.L., Ed.continental deformation, pergamon press, oxford, 53-100p.
- [3] Bamisaiye, O.A. (2021) paleo and neotectonic evolution of some basement complex rocks; journal of mining and geology, Vol.57 (2) 2021.
- [4] Musambayi C. et Al. (2022) Caractérisation géochimique des formations carbonatées de l'est de la ville de Mbujimayi (Secteur de Lukelenge): Utilité dans les travaux de génie-civil, International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 37 No. 4 Oct. 2022, pp. 818-829.
- [5] Cahen, L. 1954: Géologie du Congo belge. Vaillant-Carmanne, Liège, 580 pp.
- [6] Cahen, L., 1951, Données nouvelles concernant la géologie et la géomorphologie du Kasai-Oriental, Ann. Soc. Géol. Belg. 122p.
- [7] Delvaux D. Version 2.0 and above of Win-tensor Program, 2010.
- [8] Delvaux, D, Tectonic stress Inversion (Win-tensor user guide) (unpublished), 2010.
- [9] Diabat, A (2015); structural and stress Analysis of the Area between Al-Akeider and Mughayer as-sirhan, Northwestern Badia-Jordan. Jourdan journal of earth and environmental sciences.V.7 n° 1 P 37-48.
- [10] Doblao, M. (1998); slickenside kinematic indicators. Tectonophysics. V.295. P187-197.
- [11] Foucault, A; Raoult, S.F. 1995, Dictionnaire de géologie, éd. Masson, Paris, 4876 p.
- [12] Guy L. SHUNGU, (2018) Etude Structurale des formations de l'Ouest du lac Tanganyika (cas de Kavimvira, RD Congo), international journal of innovation and applied studies.
- [13] Lepersonne J., Structure plissée du Bushimay dans la moitié nord-est du degré carré Mani (S7/25) (Zaire) et les régions voisines, Rapp. Ann. 1972, Dépt. Géol. Mus. Roy. Afr. Centr., pp. 22-29, 1973.
- [14] Michel A.J. (1984) Determination of stress data from slip data; fault and folds. Journal of geophysical research, solid earth, V.89 n°B13, P11517-11526.
- [15] Online] Available: <http://www.damiendelvaux.be/Tensor-index.html>.
- [16] Petit, JP (1987). Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. Journal of structural geology, V., n°5-6, P. 597-608.
- [17] Polinard, E. 1935: La géographie physique de la région du Lubilash, de la Bushimaie et de la Lubi vers le 6° parallèle Sud. Mém. Inst. Roy. Col. Belge, sc.nat. et méd., in-4°, 4, 1, 31pp.
- [18] Raucq, P. (1975, Succession des événements géologiques de système de Bushimay, Géol. Congo, 214p.
- [19] Raucq, P. 1970: Nouvelles acquisitions sur le système de la Bushimay. Ann. Mus. Roy. Afr. Centr., Tervuren, Belg. n°69,156p.
- [20] Mayiba T. et Al. (2022) Superposition de la tectonique du craton de Kasai et de formations du Bushimay dans le secteur de Lukelenge, International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324 Vol. 37 No. 4 Oct. 2022, pp. 808-817.
- [21] Ungu Ramazani Derick1 and Malu Wa Kasanda Gianni, (2020), Etude pétrographique des roches basiques de la partie supérieure du super groupe de Mbuji-Mayi, International Journal of Innovation and Scientific Research ISSN 2351-8014 Vol. 46 No. 2 Jan. 2020, pp. 153-164.
- [22] Xu, P. (2004), determination of regional stress tensors from fault-slip data. Geophysical journal international; V157, n°3, p1316-1330 doi.org/10.1111/j.1365.
- [23] Walraven, F. 1991: Geochronological investigations into lithology of the Archaen of the Kasai region, Southwestern Zaire. In: Archaen geology in Africa and surrounding regions. I.G.C.P. 273 Bull., 19-22. International meeting, B.T. Rumvegeri (Editor).

Étude des occurrences kimberlitiques de Kabimba par approche géophysique (aeromagnetisme et gravimétrie)

[Study of Kabimba kimberlite occurrences by geophysical approach (aeromagnetism and gravimetric)]

Hippolyte MUTOMBO, Téléphore MAYIBA, and Crispin MUSAMBAYI

Université Officielle de Mbujimayi, RD Congo

Copyright © 2023 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: Rocks in the Earth's crust can be characterized by measurable physical properties such as magnetic susceptibility, density, electrical resistivity. Geophysical methods are appropriate for measuring the contrast of these properties inside the earth. This contrast represents, among other things, a variation in the structural. The development of new geophysical data acquisition tools and techniques makes it possible to considerably increase the quality/quantity of data and, on the other hand, to reduce operating costs and implementation time. These data, beyond their quality, however require adequate processing to be usable in geological interpretation. The geological map depicts a window into the internal structure of the earth. It is the first tool used in the exploration of natural resources. Since the majority of the earth's surface is covered by sediments and vegetation, it is important to develop other technologies that can map geology through this cover. We processed airborne magnetic data to interpret the geology of the study area. The aim of this research is to process the airborne magnetic data on Kabimba to identify anomalies, then confirm the lithological cause of each by core drilling. This determines the lithostratigraphic at the points of the geophysical anomalies. The drilling declines the true underground geology through the information provided by the cores which reflect the geological formations crossed. Two kimberlite occurrences have been highlighted in this site. They have a pipe-like structure and contain green to red kimberlite under a carbonate casing topped by Cretacic sandstone and Kalahari sand.

KEYWORDS: Aeromagnetic surveys, gravimetrics, geological mapping, Kimberlitic, drilling.

RESUME: Les roches de la croûte terrestre peuvent être caractérisées par des propriétés physiques mesurables telles que la susceptibilité magnétique, la densité, la résistivité électriques. Les méthodes géophysiques sont appropriées pour mesurer le contraste de ces propriétés à l'intérieur de la terre. Ce contraste représente entre autres une variation de la structurale. Le développement des nouveaux outils et de nouvelles techniques d'acquisition de données géophysiques permet d'accroître considérablement la qualité/quantité des données et, d'autres part, de diminuer les coûts d'exploitation et le temps de mise en œuvre. Ces données au-delà de leur qualité, nécessitent toutefois des traitements adéquats pour être utilisables dans l'interprétation géologique. La carte géologique représente une fenêtre de la structure interne de la terre. Elle est le premier outil utilisé dans l'exploration des ressources naturelles. Du fait que la majorité de la surface de la terre est recouverte par les sédiments et la végétation, il est important de valoriser d'autres technologies susceptibles de cartographier la géologie à travers cette couverture. Nous avons traité les données magnétiques aéroportées afin d'interpréter la géologie de la zone d'étude. Le but de cette recherche est de traiter les données magnétiques aéroportées sur Kabimba pour en dégager des anomalies, puis confirmer la cause lithologique de chacun par le forage carottant. Celui-ci détermine la lithostratigraphique aux points des anomalies géophysiques. Le forage décline la vraie géologie souterraine à travers les informations fournies par les carottes qui elles, reflètent les formations géologiques traversées. Deux occurrences kimberlitiques ont été mise en évidence dans ce site. Elles ont une structure en forme de pipes et contiennent une kimberlite verte à rouge sous un encaissant carbonaté surmonté par le grès Crétacique et le sable du Kalahari.

MOTS-CLEFS: Levés aéromagnétiques, gravimétriques, cartographie géologique, Kimberlitique, forage.

1 INTRODUCTION

Les kimberlites diamantifères sont une des principales sources de diamants naturels du monde. La compréhension de ses édifices est très importante pour l'exploration du diamant vu qu'une kimberlite n'est pas nécessairement diamantifère, en fait au plus que 1 % le serait (Jébrak et Marcoux, 2008). Ces gisements sont toutefois intéressants, car il offre une grande rentabilité une fois en opération. Il est donc important de connaître les principales caractéristiques d'un gîte de kimberlite diamantifère, comme la teneur et le tonnage, la minéralogie, la roche encaissante, les sources, les âges de formation, la forme, le domaine structural et bien sur le modèle génétique et les techniques exploratoires.

Les méthodes utilisées en géophysique appliquée se sont diversifiées dans plusieurs domaines d'application. Elles sont de plus en plus sollicitées dans l'exploration et l'exploitation des ressources naturelles (mines, pétrole et gaz), l'hydrogéologie, le génie civil, l'archéologie, la gestion environnementale etc...

Le monde contemporain de l'industrie de ressources naturelles fait face à des défis majeurs. En effet, ces ressources naturelles, en particulier celles proche de la surface, s'épuisent et/ou se raréfient. L'industrie minière s'oriente dorénavant, au-delà des zones superficielles déjà connues, soit vers des zones géologiques plus ou moins complexes (formations géologiques plissées et faillées, régions à couvert végétal dense). En plus, les zones profondes de la croûte terrestre constituent de nouvelles cibles où la découverte des gisements exploitables devient un défi majeur (Boszczuk, Cheng, Hammouche, Roy, Lacroix et Cheilletz, 2011). Les coûts d'exploration et d'exploitation afférents connaissent une hausse.

La nécessité de développer et d'améliorer, de façon continue, les nouvelles méthodes, techniques et outils d'exploration et d'exploitation des ressources naturelles est au cœur des préoccupations des acteurs du domaine. En effet, au cours des dernières années, des techniques et pratiques tous azimuts voient le jour; dans l'objectif de rentabiliser l'exploration et l'exploitation de ces ressources à travers la réduction des coûts et du temps.

La géophysique appliquée à la prospection minière permet d'aborder les problèmes en 2 dimensions (Allard et Bois, 1999). La cartographie, est beaucoup plus transversale et permet de faire face aux défis contemporains liés à l'exploration minière. Cette dernière approche en deux dimensions qui nous ont permis de délimiter les contacts géologiques, de localiser les éléments structuraux et d'identifier certaines formations géologiques. Avec l'avancement de la technologie informatique, nous sommes parvenus à déduire les informations dans la troisième dimension pour arriver à constituer la succession lithologique de formations géologiques retrouvées dans ces massifs kimberlitiques (Kprigbé W, 2016).

Dans cette nouvelle édition, les résultats des nombreux levés géophysiques effectuées sur l'ensemble du territoire Tshilenge ont été incorporés, augmentant ainsi, et de façon considérable, le niveau de détails de la géologie et améliorant le niveau de précision de localisation des différentes lithologies. Cette nouvelle carte géologique résume les connaissances géologiques du site sous étude.

Les travaux de cartographie géologique, notamment ceux réalisés à petite échelle, se basent sur des grilles grossières (extrapolations et interpolations) dans le site de Kabimba. Ils sont donc insuffisants pour une bonne connaissance de sites géologiques complexe (magmatisme, plissement, fracturation) (Mutombo H, 2013). Il est difficile de faire la cartographie géologique sur des formations partiellement ou entièrement couvertes (peu ou pas d'affleurements) et surtout difficile d'avoir accès à l'information des parties profondes de la croûte terrestre. Ceci étant, l'utilisation des méthodes géophysiques multiples trouve son sens pour l'optimisation des travaux de cartographie géologique et du soubassement dans ce site (Mutombo H, 2013).

Dans le cadre de ce travail, deux objectifs spécifiques sont poursuivis : premièrement, il est question d'identifier les différentes zones anormales par traitements des informations en 2D sur les zones d'études, par les données de levés magnétiques aéroportées; et deuxièmement, suivre en profondeur la succession de différentes lithologies spécifiques à partir des anomalies magnétiques et des forages carottants.

2 CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

2.1 CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE

Les occurrences de Kabimba sont situées dans l'ancien permis d'Exploitation 9703. Ces kimberlites se trouvent approximativement à 40km au sud de la ville de Mbujimayi dans la province du Kasai-Oriental en RD Congo. L'accès au site est facilité par la route nationale N°1 qui part de Mbujimayi à Mwene-Ditu (Figure 1).

Le site de KABIMBA, comme dans toute la feuille de Mbujimayi, a pour relief un bas plateau dont l'altitude varie entre 600 et 800m (E. Polinard, 1935). Ce bas plateau a une inclinaison Sud-Nord et présente des surfaces peu accidentées et mollement vallonnées (P. RAUCQ; 1958). La classification de Koppen qualifie le climat du Kasai Oriental de type A. Il s'agit d'un climat tropical humide dont la température diurne du mois le plus froid est supérieure à 18°C. La température moyenne annuelle varie de 25°C dans le Nord à 22,5°C

dans le Sud de la province. Les variations annuelles des températures sont peu importantes. Leurs écarts varient entre 1,5 à 2° suivant les saisons (A. Focan et W. Mullenders, 1995).

Les études récentes de (A. KAMBI, 1984), ont montré que dans la région, les températures moyennes annuelles ont une tendance à la hausse (l'augmentation varie entre 0,6 et 1°C/an). Le Kasai-Oriental connaît un climat tropical humide qui est caractérisé par deux saisons dominantes, à savoir, la saison pluvieuse longue de 6 à 9 mois et la saison sèche de 3 à 6 mois.

Les principaux facteurs qui influencent le climat du Kasai oriental sont la forêt au Nord et la savane au centre et au sud.

Une végétation luxuriante et variée couvre la province et est caractérisée au Nord par la forêt équatoriale, au centre par la savane boisée et au sud par le prolongement de ladite savane et de steppes.

Sur le plan hydrographique, la rivière Mbuji-Mayi joue le rôle d'une véritable colonne vertébrale, étant donné qu'elle traverse le centre de la région du Kasai-Oriental et baigne presque tous les territoires administratifs. Dans son étude (A. KAMBI, 1984) met en évidence l'existence de trois bassins hydrographiques différenciés, étroitement liés à la géologie de la région.

2.2 CONTEXTE GÉOLOGIQUE

En ce qui concerne les matériaux meubles dans lesquels se développe le sol, deux faciès pédologiques sont à considérer: les produits de l'altération sur place ou presque des formations du substratum et le matériau des formations de couverture qui résulte d'un transport et d'un dépôt sur ce substratum. Il existe aussi des matériaux mixtes résultant d'une contamination plus ou moins importante des premiers par les seconds. (P. GILSON et L. LIBEN, 1960) et enfin des sols latéritiques.

La géologie de la région est représentée par des sédiments crétacés recouvrant des sédiments protérozoïques principalement les carbonates et un complexe du socle granitique (Cahen L, 1951). Elles sont groupées de manière générale en deux ensembles principaux qui sont de haut en bas: Les formations de couverture qui sont constituées des roches tendres ou meubles comprenant des couches subhorizontales et datant du crétacé inférieur et du cénozoïque puis, le soubassement datant du précambrien et constitué des formations sédimentaires plus au moins plissées, des formations magmatiques et des roches cristallines. (DELHAL et al. 1970). Le soubassement du Super Groupe de Bushimay est constitué des roches carbonatées sédimentaires, subdivisées en trois Séries dont deux seulement sont représentées au Kasai (P. Rucq, 1975). Les formations rencontrées dans ce secteur sont des roches calcaires et des calcaires dolomitiques ainsi que des grès arkosiques souvent calcaires feldspathiques ou argileux, rouges ou mauves (E. Polinard, 1925; L. Cahen, 1951, 1954; P. Rucq, 1956).

Les kimberlites de bena Kabimba sont situées dans la partie Nord du noyau central du bloc du Kasai du Craton du Congo, ces kimberlites (70Ma) sont intrusives dans les sédiments clastiques du Crétacé Supérieur (Cahen L, 1951); (J.B. Dawson, 1967); (Nvuemba N, 1980); (Kampata M, 1993); (Batumike, J. M., 2008). La séquence protérozoïque est traversée par les dolérites, qui sont extrusives dans les basALTITUDES (Polinard E, 1925). Les kimberlites de Kabimba sont supposées du même âge que les kimberlites reconnues à Mbujimayi et à Boya. (Fiermans C.L, 1975); (Kamanji K., 1979); (Mutombo H, 2013).

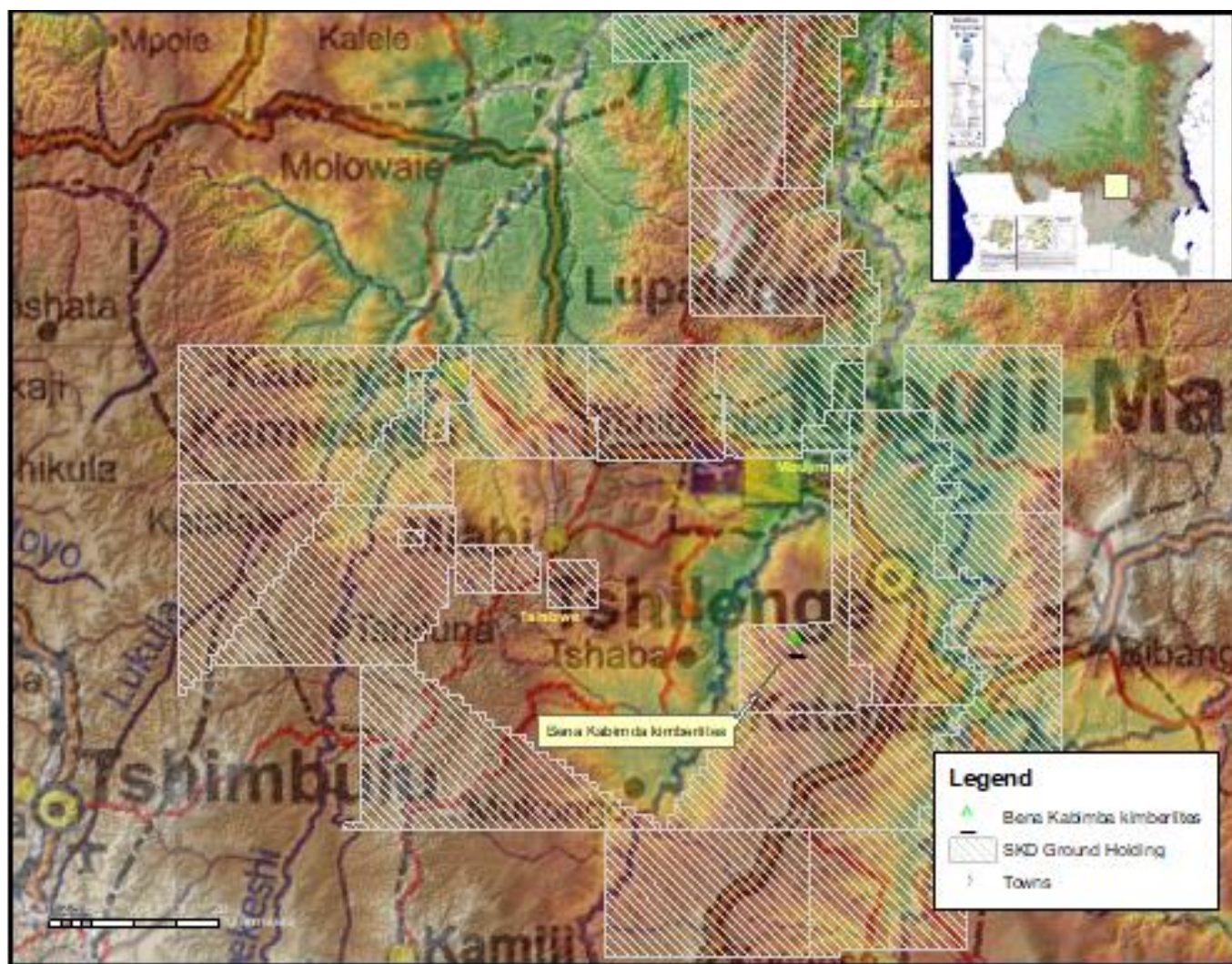


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

3 MÉTHODES ET TECHNIQUES

Les travaux de terrain (mesures de susceptibilité magnétique et de densité, descriptions lithologiques, collectes d'échantillons et analyse morphologie du terrain) ont été réalisés durant les mois de mai et de juillet 2007. Les mesures ont été faites à l'aide du "Kappamètre KT-20 sic series" suivant une maille régulière plus ou moins grossière. Ainsi, chaque point visité a été positionné dans l'espace (GPS avec une précision spatiale de l'ordre de 4 m et ATITUDEimètre barométrique ayant une précision de $\pm 0,1$ m). Ces travaux se sont déroulés suivant deux phases: une première phase qui s'est étendue de février à juin 2007 dans la région de Kabimba.

Les mesures ont été prises suivant une maille régulière de 100 x 25 m, le levé magnétique à haute résolution, effectué à un interlignage de 20m et à une inter station de 5m.

Un total de 872 mètres de carottes à grand diamètre BQ ont été forés (5puits) avec la sondeuse Prakla RB-20 pour la récupération des échantillons représentatifs sur l'ensemble de deux pipes.

Dans ce site, plusieurs mesures de susceptibilité magnétique sur affleurement ont été effectuées en mode mesure «Measure Mode» et sans PIN de l'appareil à l'aide d'un capteur à fréquence double (10/ 100 KHz), suivant dix profils orientés Nord-Sud. Une à cinq mesures maximum a été faite par point de mesure et par fréquence. L'appareil mesure des susceptibilités vraies des lithologies avec une marge d'erreur d'environ 10% selon les spécifications du fabricant. Pour ces mesures, la valeur de susceptibilité vraie équivaut à la moyenne arithmétique de toutes les mesures effectuées par point de mesure.

Les données sont d'abord enregistrées automatiquement après chaque mesure dans la mémoire du Kappamètre. L'appareil permet de stocker en mémoire plusieurs valeurs de susceptibilité magnétique mesurée et d'autres paramètres physiques et d'en calculer leur

moyenne arithmétique. La gamme des susceptibilités mesurables par l'appareil s'étend de 10^{-6} SI à $9999,99 \times 10^{-3}$ SI pour le capteur à double fréquence.

Les données sont ensuite transférées sur la plate-forme de "GeoView version 2.1.4", qui permet l'affichage et l'exportation vers d'autres périphériques. La compilation finale et l'analyse statistique a été faite sur les plates-formes de Excel 2010 et "Origin Lab". Les données sont interpolées et maillées sur la plate-forme "Geosoft".

4 PRESENTATION DES RESULTATS ET INTERPRETATION

La campagne géophysique aéroportée et terrestre effectuée pour la recherche des pipes kimberlitiques dans le site sous étude a permis de mettre en évidence non seulement les deux occurrences kimberlitiques, mais aussi les différentes formations géologiques dans lesquelles, elles sont encaissées (figure2). De cette campagne, plusieurs points ont été levés et nous ont permis d'avoir les différentes susceptibilités magnétiques de chaque formation. Grâce à leurs susceptibilités, nous avons pu réaliser les différents logs stratigraphiques du site sous étude dans le souci d'en découvrir l'emplacement des amas kimberlitiques éventuels.

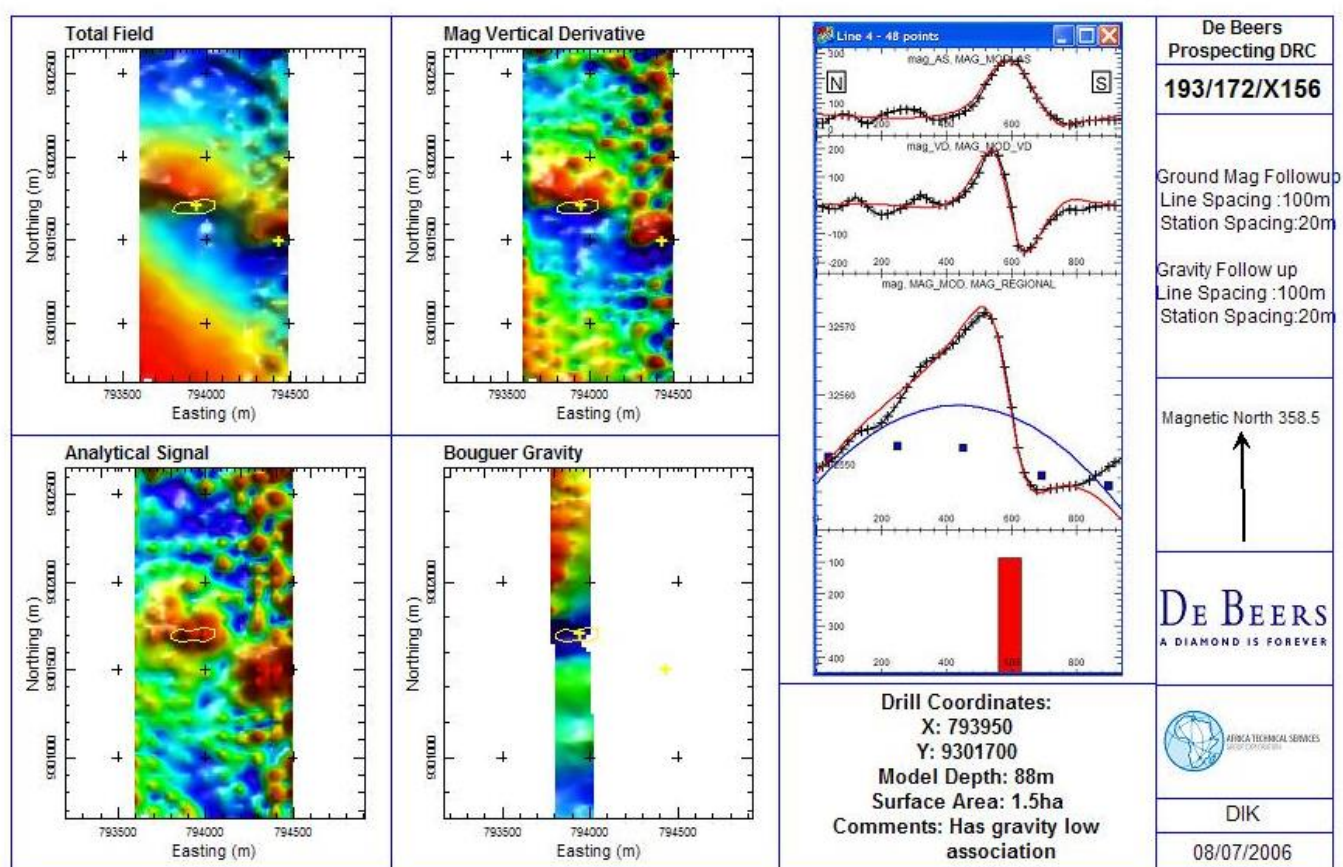


Fig. 2. Superposition des anomalies Magnétique et Gravimétrique du site de Kabimba

Ces logs sont repris ici-bas et on y retrouve d'une part, les coordonnées géographiques (latitude, longitude et altitude) et d'autre part, les différentes formations géologiques traversées avec respectivement leurs magnitudes ainsi que leurs descriptions.

LATITUDE 9322892

LONGITUDE 803389

ATITUDE 541

UTM 34S

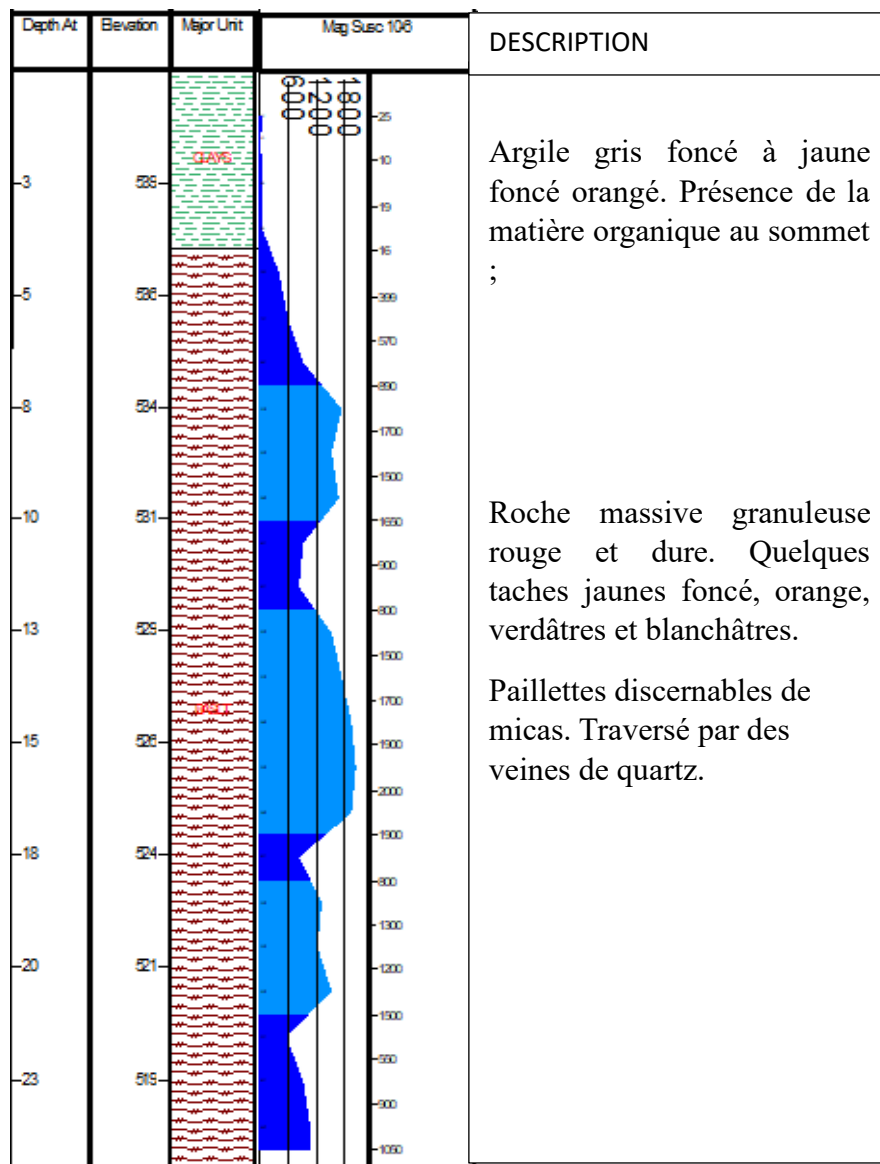


Fig. 3. Log de forage position 1

LATITUDE 9328703
LONGITUDE 788901
ATITUDE 607
UTM 34S

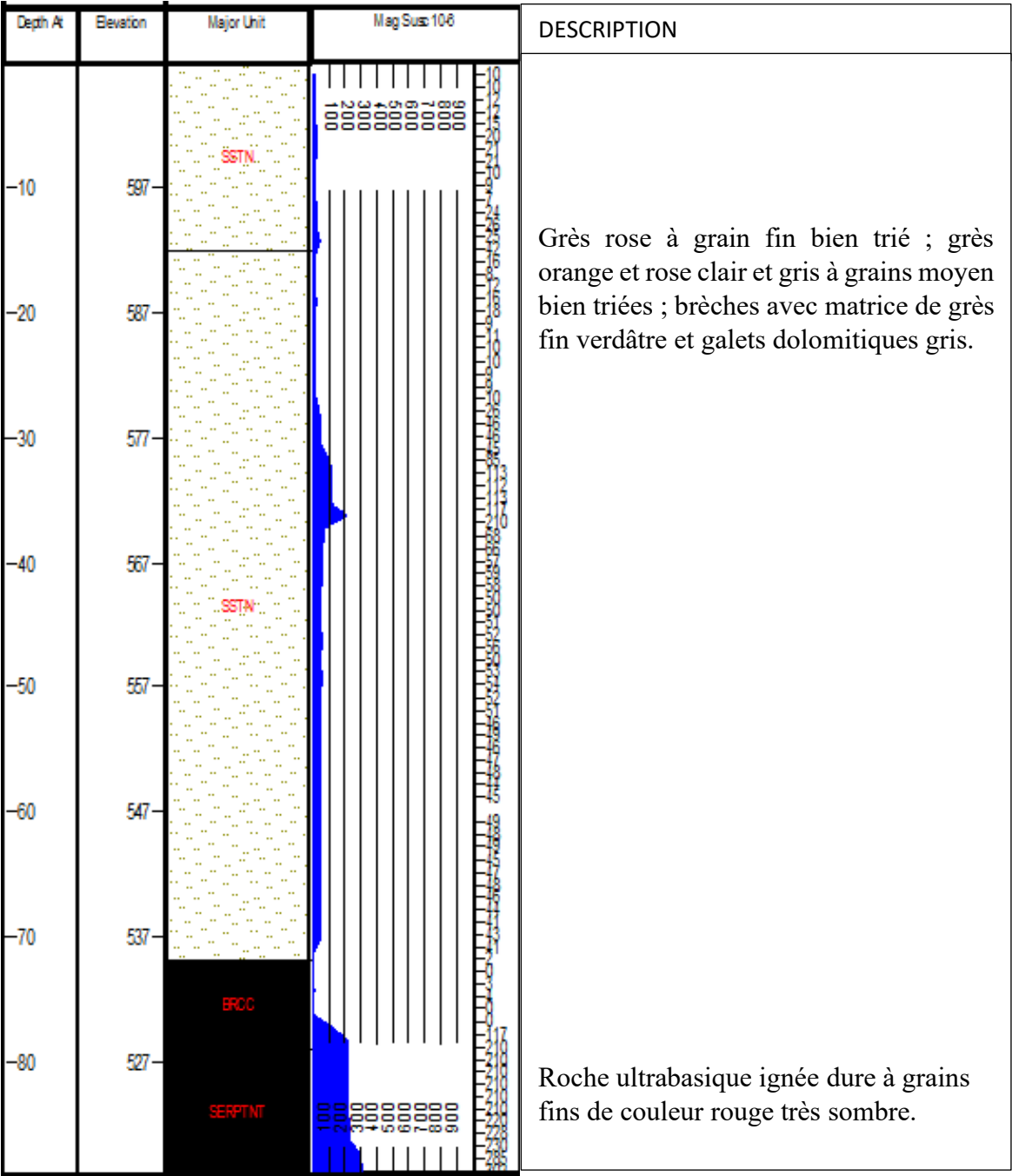


Fig. 4. Log de forage position 2

LATITUDE 9309574
 LONGITUDE 755680
 ATITUDE 735
 UTM 34S

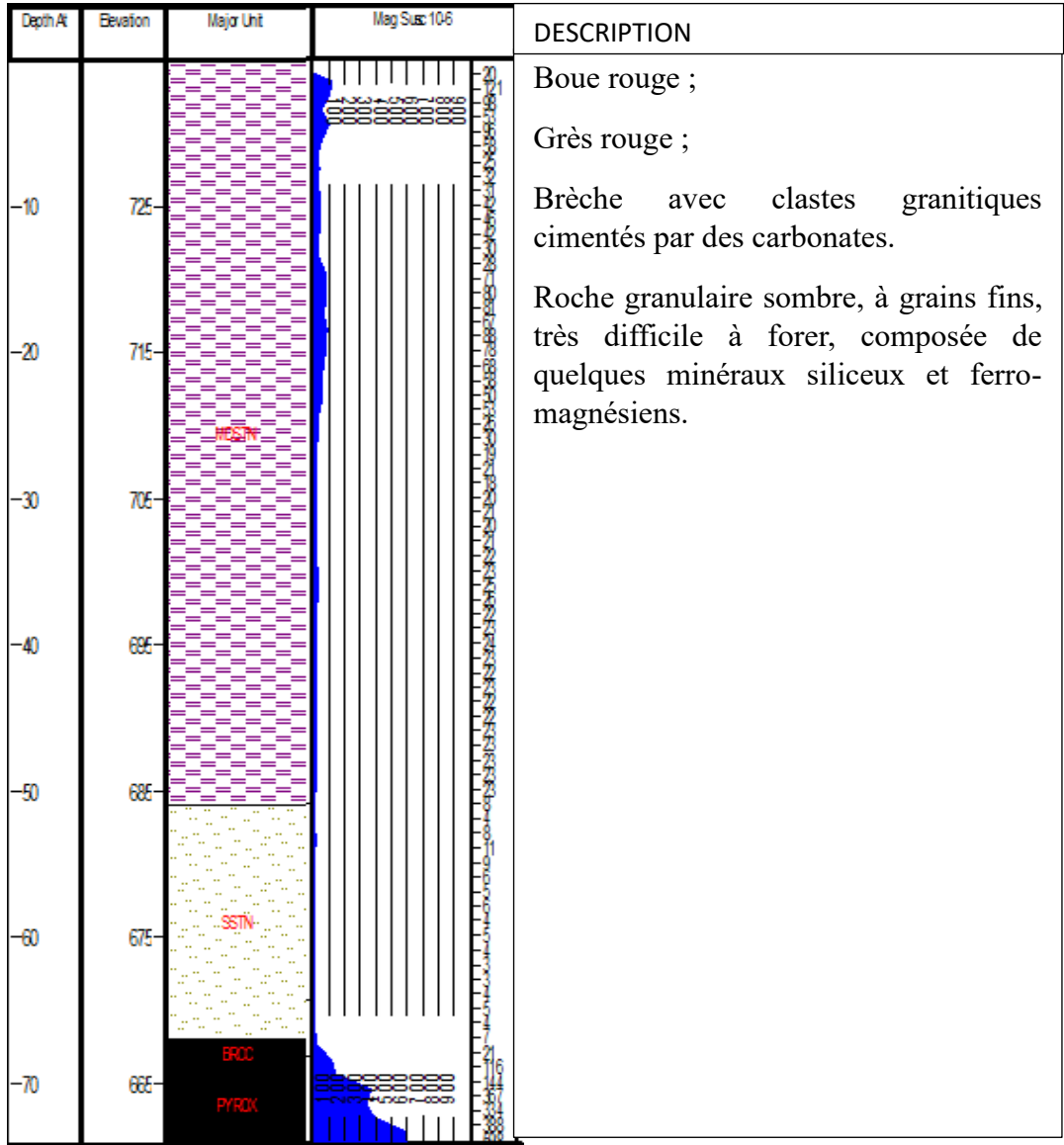
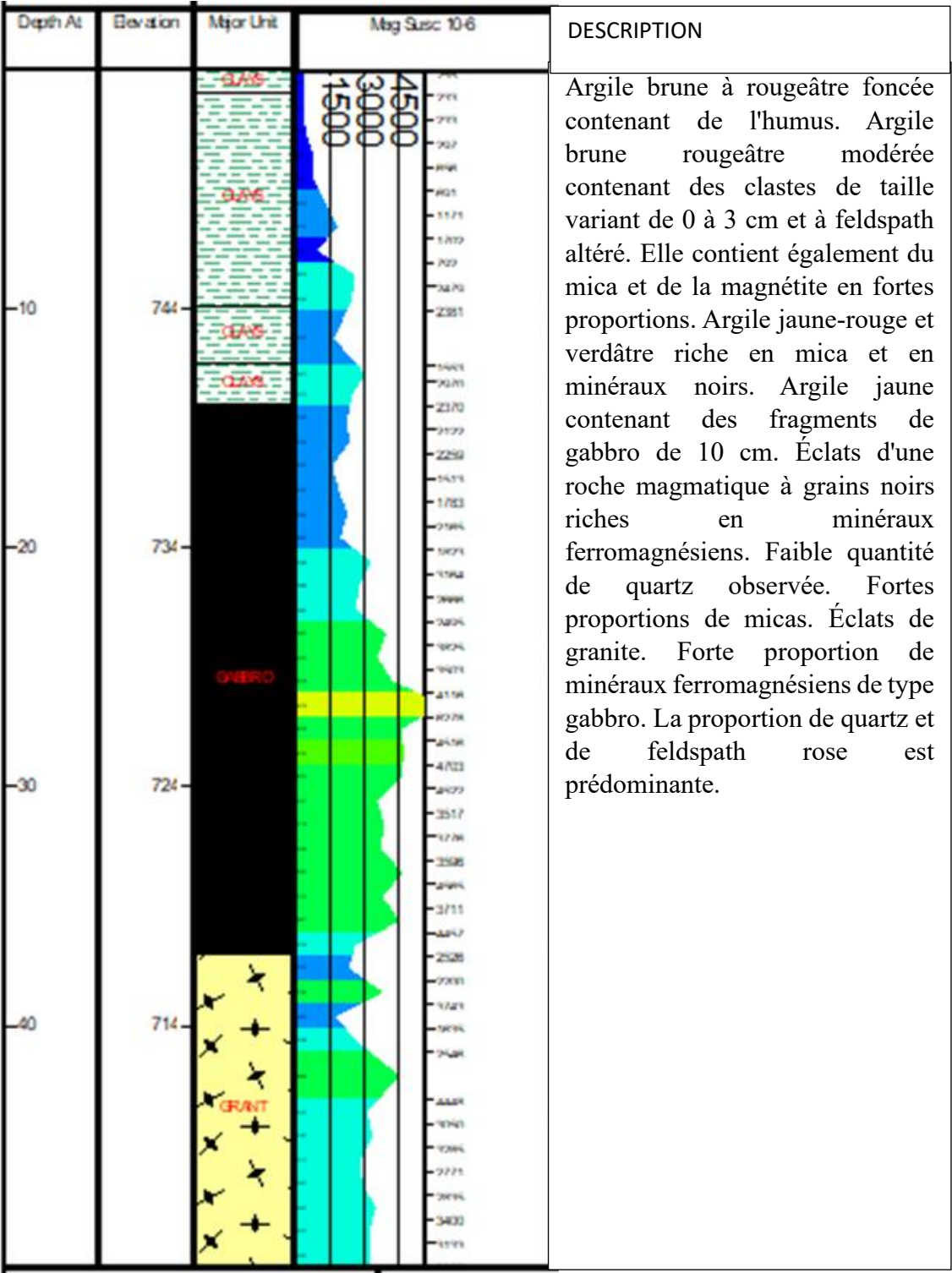


Fig. 5. Log de forage position 3

LATITUDE 9294282
LONGITUDE 742417
ATITUDE 754
UTM 34S



LATITUDE 9305820

LONGITUDE 752649

ATITUDE 5684

UTM 34S

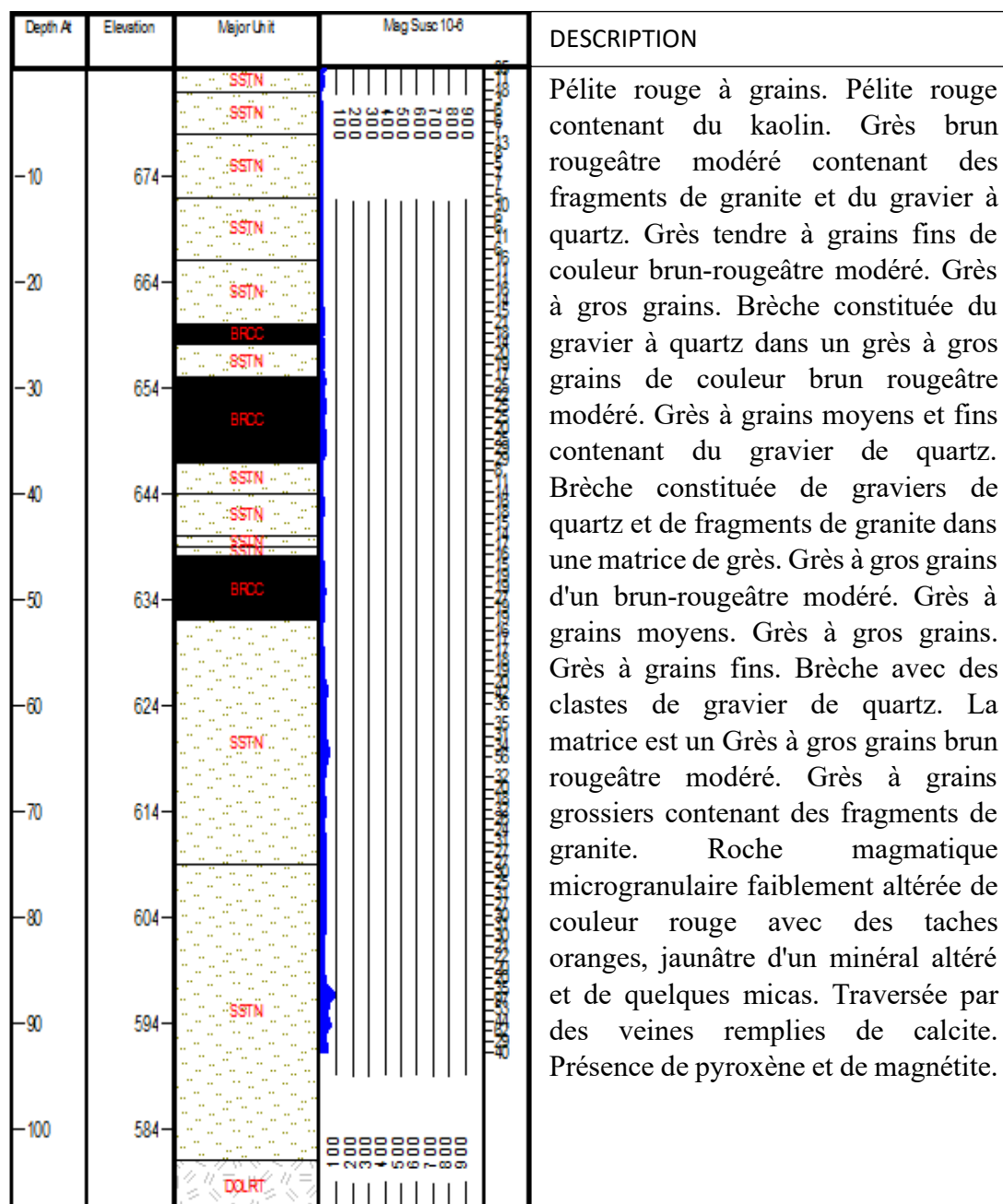


Fig. 7. Log de forage position 5

LATITUDE 9310507
LONGITUDE 763299
ATITUDE 734
UTM 34S

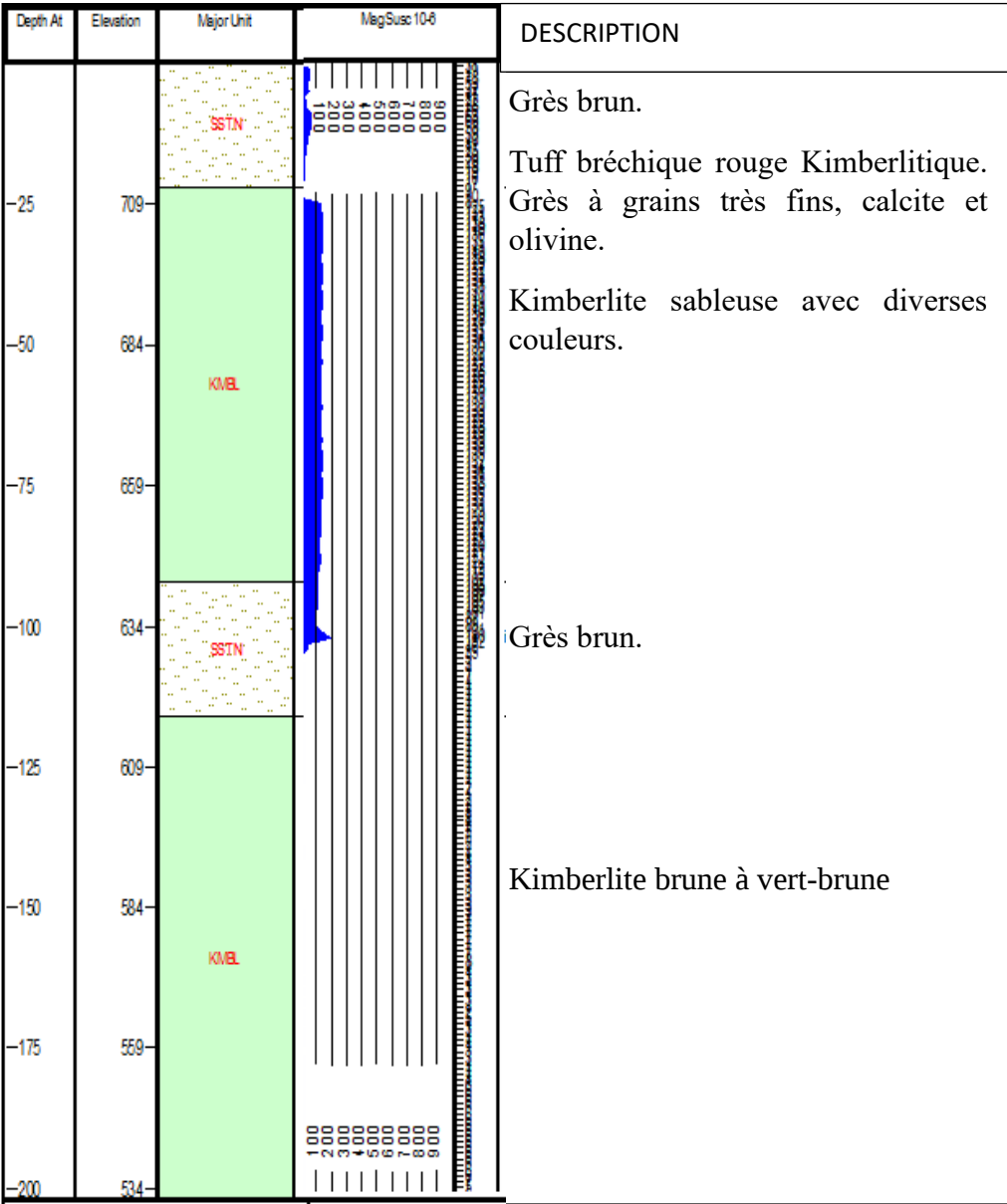


Fig. 8. Log de forage position 6

LATITUDE 9310266
 LONGITUDE 751950
 ATITUDE 680
 UTM 34S

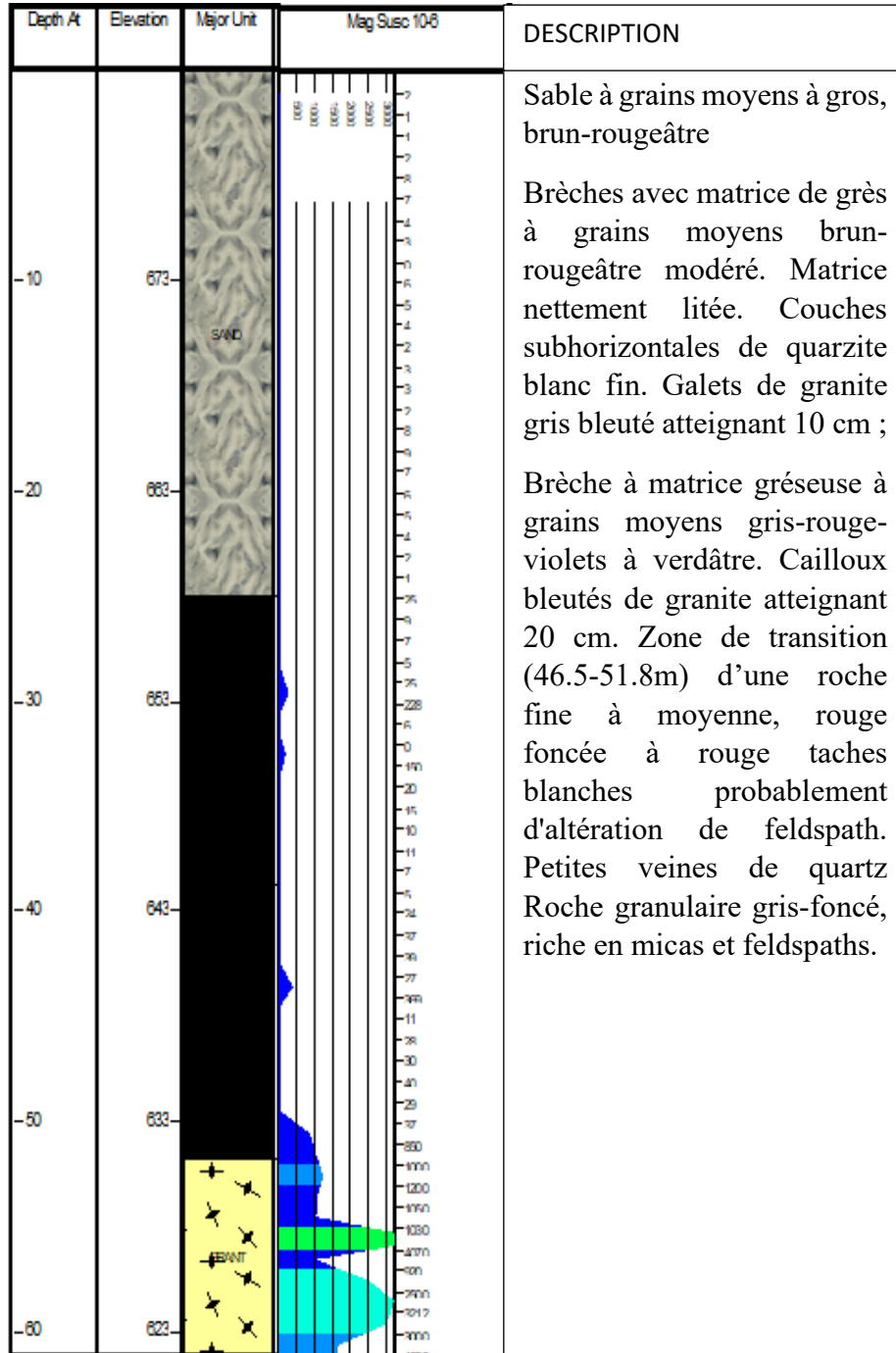


Fig. 9. Log de forage position 7

LATITUDE 9301720
 LONGITUDE 796600
 ATITUDE 692
 UTM 34S

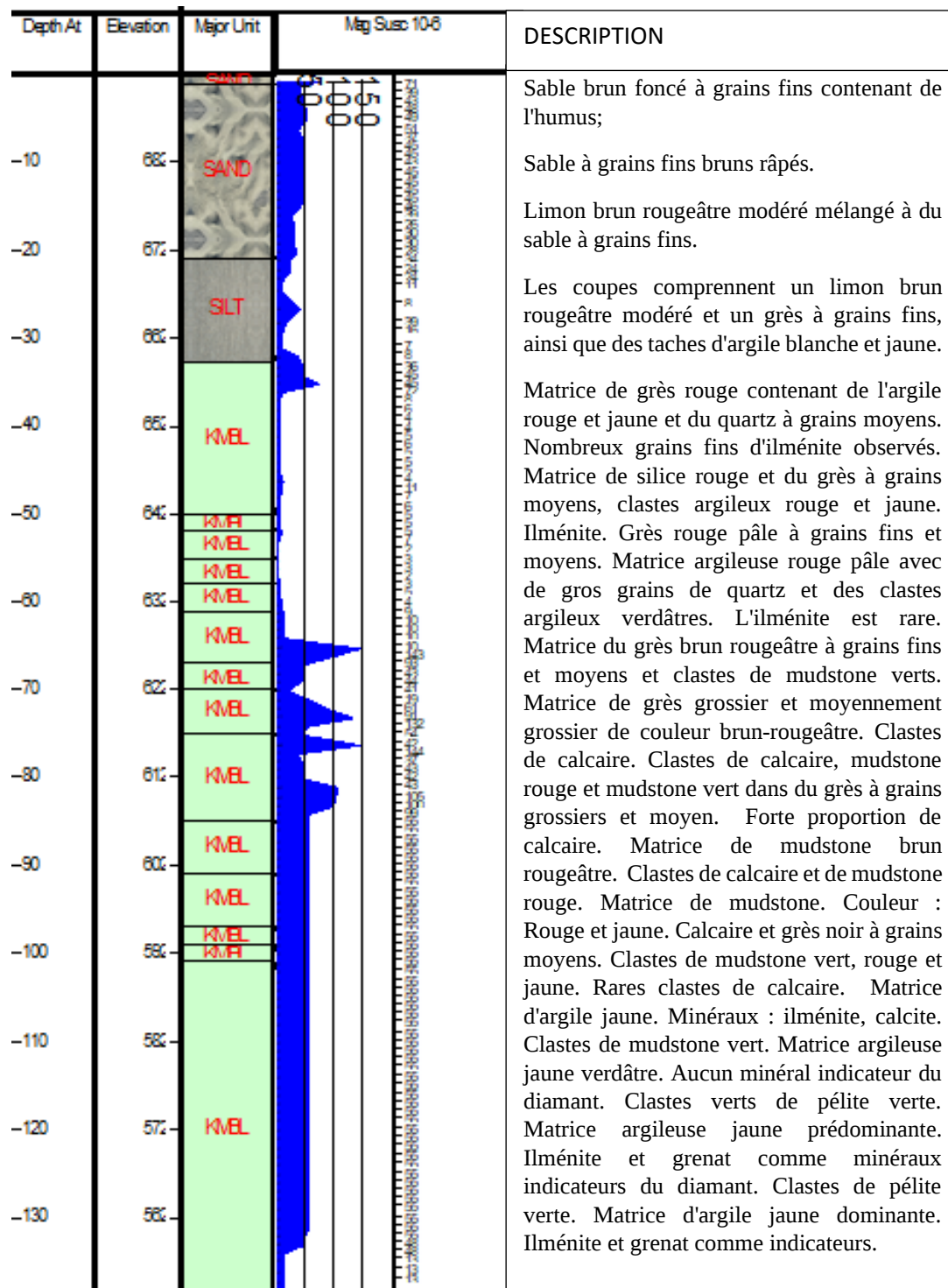


Fig. 10. Log de forage position 8

5 DISCUSSION ET CONCLUSION

Les kimberlites sont souvent décrites sous forme de pipes, soit des cheminées volcaniques montrant un diamètre inférieur au Km et des profondeurs allant jusqu'à 2500 m. Elles forment des essaims de 10 à 40 corps répartis sur quelques hectares (Jébrak et Marcoux, 2008). La forme des kimberlites peut être associée à trois faciès généraux, en fait ces faciès sont dérivés principalement des kimberlites diamantifères de l'Afrique du Sud (Kjarsgaard, 2007)

Selon les études (Winter, 2001) et (Kjarsgaard, 2007), la minéralogie d'une kimberlite peut être divisée en deux groupes, le premier groupe est une kimberlite ultramafique qui se retrouve sur tous les continents et le second groupe est une kimberlite micacée qui se retrouve seulement en Afrique du Sud (Winter, 2001).

Les pipes kimberlites sous étude sont classées parmi celles du type 1 ultramafique qui montre des xénolites (fragments étrangers dans une roche, comme le diamant des kimberlites) en addition à une texture commune inéquigranulaire par la présence de macrocristaux, un terme non-génétique qui décrit les cristaux avec un diamètre de 0.5 à 10 mm, dans une matrice finement grenue. Ces macrocristaux sont arrondis à anhédrale et fragmentés, souvent constitués d'olivine. Les macrocristaux peuvent être des xénocristaux ou des mégacristaux (cristaux de 1 à 20 cm). Les xénocristaux des kimberlites (constitués de xénolites désagregés de roches du manteau) sont constitués des minéraux suivants: ilménite, grenat de type Cr-pyrope, forstérite, spinel chromifère, Cr-diopside, bronzite, chromite, grenat almandin-pyrope, amphibole et phlogopite. Les mégacristaux quant à eux montrent les minéraux suivants: Ti-Cr-pyrope, Mg-ilménite, Cr-diopside, enstatite, phlogopite et zircon. On peut voir également des phénocristaux primaires, comme la forstérite et le spinel. La matrice des kimberlites est formée typiquement d'une deuxième génération d'olivine fine de forme subhédrale à euhédrale avec des proportions variables de minéraux primaires tels que la perovskite, la monticellite, le spinel, la phlogopite et l'apatite. Les kimberlites montrent des différences entre elles, comme la présence de carbonate et serpentine tardive ou la présence de phase accessoire en rutile. Il peut avoir un remplacement de phases minérales primaires et de macrocristaux en serpentine, diopside, calcite et/ou magnétite, ce qui est commun dans des systèmes riches en volatile qui refroidissent.

Celles de la zone sous étude se présentant sous forme des pipes de bena Kabimba comprennent des Kimberlites vertes et rouges, riches en quartz et contenant des quantités variables d'olivine et de magmaclastes kimberlitiques. Elles ont été interprétées comme des kimberlites volcanoclastiques résédimentées. (Mutombo H, 2013). Les données géophysiques combinées indiquent deux pipes kimberlitiques adjacentes avec des cratères collés d'une superficie combinée d'environ 28Ha. Ils ont une étendue de 19ha et 9ha respectivement pour Kabimba 1 & 2. (Mutombo H, 2013)

Les données géophysiques gravimétriques et magnétiques à haute résolution ont été modélisées et ils fournissent une estimation combinée de la superficie et la profondeur des kimberlites de Kabimba. La zone à haut degré de confiance confirmée par les modèles superposés magnétique et gravimétrique montre une superficie de 8 ha. En revanche la partie à faible degré de confiance, présentée par seules les données gravimétriques totalise 28ha. Ceci pourrait être interprété de manière à délimiter un feeder magnétique de 8ha contre un cratère non magnétique de 28ha. Cette superficie est confirmée par les résultats de forage. Il est supposé que la partie magnétique de la Kimberlite corresponde à une plus grande teneur juvénile de diamant dans la kimberlite.

Kjarsgaard, 2007, montre que les champs de kimberlites dans les cratons anciens de plus de 1,5 Ga sont typiquement contrôlés par des forts linéaments. Ces forts linéaments sont liés à un contrôle structural profond. En effet, des zones de cisaillement ou des fractures profondes sont révélés à l'aide de levés géophysiques tout au long des champs linéaires de kimberlites. Ces zones de contrôles structuraux auraient des racines dans le manteau et pourrait ainsi se réactiver à divers périodes dans le temps. Il est important de noter que les diamants sont généralement beaucoup plus vieux que la roche hôte, en fait la roche hôte montre des âges entre 600 Ma et 50 Ma pour la plupart, on peut reconnaître des épisodes favorables à la formation des kimberlites. Les kimberlites se trouvent préférentiellement dans de vieux cratons avec un gradient thermique faible, c'est-à-dire des cratons de 2, 5 Ga à 3,6 Ga.

Les profondeurs de formation du magma kimberlitique sont dérivées de la présence de majorité (grenat de très haute pression) en inclusion dans les diamants (Jébrak et Marcoux, 2008). L'emplacement de kimberlites suit des linéaments tectoniques liés à un contrôle structural profond, les kimberlites forment ainsi des champs de plusieurs kimberlites (Kjarsgaard, 2007).

Les données géophysiques appuyées par celles de forages effectués dans ce site, ont permis de confirmer l'existence de deux occurrences kimberlitiques à deux cratères contigus d'environ 28ha formant 2 pipes kimberlitiques jumeaux. Les rapports de forage et la description pétrographique des différentes carottes de forage ayant permis l'élaboration de logs stratigraphiques indiquent que la kimberlite est assez profonde, elle a été recoupée sans fin jusqu'à plus de 225m. Cette position à kimberlite profonde semble être dans sa racine. En outre, ces occurrences kimberlitiques sont riches en quartz et pauvre en substances juvéniles par dilution du fait qu'elles sont intrusives dans les sédiments fluviaux mal consolidés. (Mutombo H, 2013).

En se basant sur son étude, FIEREMANS C. (1966), a proposé un log stratigraphique type pour ce qui est de la Kimberlite du Kasaï. Cette coupe stipule que l'ensemble de massifs Kimberlitique du Kasaï comprend de haut vers le bas:

- Une couverture stérile reprenant, le sable argileux brun rouge;
- Un gravier à boulders de grès polymorphes. Ce gravier pouvant atteindre une épaisseur de 4 m renferme une forte teneur en diamant;
- Une couche ou lentilles sablo-argileuses à boules de kaolin avec forte teneur en diamant pouvant atteindre 20 m d'épaisseur;
- Une Kimberlite lessivée;
- Une Kimberlite cimentée

Cette succession est conforme à celle de formations géologiques rencontrées dans le site sous étude au regard des différentes données géophysiques et forages effectués (logs stratigraphie figure 3-10). Sur ces derniers, nous constatons dans l'ensemble l'absence de certaines formations géologiques ou niveaux lithologiques sur certains logs; fait qui traduit l'existence des lacunes lithologiques dans cet espace. La modélisation et l'évaluation de la teneur en diamant de ces pipes kimberlitiques restent à étudier.

REFERENCES

- [1] Allard M et Bois D, 1999: La géophysique appliquée à l'exploration minérale, Centre collégial de développement de matériel didactique, Cégep de l'Abitibi-Témiscamingue, Québec, 352p.
- [2] Boszczuk, Cheng, Hammouche, Roy, Lacroix et Cheilletz, 2011: A 3D gravity data interpretation of the Matagami mining camp, Abitibi Subprovince, Superior Province, Québec, Canada: Application to VMS deposit exploration: Application to VMS deposit exploration. *Journal of Applied Geophysics*, 75 (1), 77-86p.
- [3] Bultot, F., 1954, Notice de la carte des zones climatiques du Congo Belge et au Rwanda-Uniadi, AC. Moy. Sc. Col, Atlas général du Congo, 33p.
- [4] Cahen, L., 1951, Données nouvelles concernant la géologie et la géomorphologie du Kasai-Oriental, *Ann. Soc. Géol. Belg.* 122p.
- [5] Cahen, L. 1954: Géologie du Congo belge. Vaillant-Carmanne, Liège, 580 pp.
- [6] Dawson J.B., 1967: Advance in Kimberlite, *Earth, SC. Rev*, 1971, J, 187 – 214.
- [7] Delhal, J. (1977): Le complexe tonalitique de Kanda Kanda et données géochronologiques comparées des unités Archéennes du Kasai. *Mus. Roy. Afr Central*, Tervuren (Belg), Dép. géol. Min., *Rapp. Ann.*1976, pp 64-83.
- [8] Delhal, J. (1991): Situation géochronologique 1990 du précambrien du Sud Kasai et de l'Ouest du Shaba. *Mus. Roy. Afr. Centr*, Tervuren (Belg), Dép. Géol. Min, *Rapp. Ann* 1989-1990. pp 119-125.
- [9] Duvigneaud P. et J. LEONARD, 1953: Carte Schématique des principaux aspects de la végétation au Congo belge, les naturalistes, Belges, 34p.
- [10] Fiermans C.L. 1966: Contribution à l'étude pétrographique de la brèche kimberlitique de Bakwanga, *Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain*, 92p.
- [11] Fiermans C.L., 1975: géologie des gisements de diamant de Mbujimayi, *Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain*, 99p.
- [12] Focan, A. et W. Mullenders, 1955: saisons et périodes sèches et plusieurs au Congo Belge, *Publ. INEAC*.55 p.
- [13] Foucault, A; Raoult, S.F. 1995, Dictionnaire de géologie, éd. Masson, Paris, 4876 p.
- [14] Gilson, P. et L. Liben, 1960, Etude des sols dans le Kasai, *Service Géographique Congo-Belge*, 66p.
- [15] Kambi, D., 2001, phénomène de ravinement dans la ville de Mbujimayi (Rep. Dém. Congo). *géographie*, 10-17, ISP.
- [16] Kjarsgaard, B. A., 2007. Kimberlite diamond deposits, in Goodfellow, W.D., ed., *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5*, p.245-272.
- [17] Jébrak, M. et Marcoux, E., 2008. *Géologie des ressources minérales, Ressources naturelles et Faune Québec*, Québec, 636 p.
- [18] Lepersonne, J. 1974: Carte géologique du Zaïre dressée par les géologues du Mus. Roy. Afr. Centre. Et du BGRM sous sa direction. Dessinée au Musée et imprimée à l'I.G.M., Bruxelles.
- [19] Kamanji K., 1979: étude minéralogique et pétrographique des différentes enclaves dans le massif Kimberlitique de Tshibwa. *Mém. Lic. Fac. Sc; Univ. Lub* 68.
- [20] Kampata M., 1993: Minéralogie et géochimie des Kimberlites du haut pLATITUDEeau de Kundelungu (Katanga, Congo), thèse, Univ. Louvain, 77-88p.
- [21] Kpirgbéne W, 2016: Cartographie géologique par méthode magnétique aéroportée: application à deux zones de la région de l'abitibi-témiscamingue, *mém. Univ. Québec*, 153p.
- [22] Mutombo H, 2013: Ebauche d'évaluation des ressources kimberlitique de Kabimba, *Cahier de l'Univeristé Officielle de Mbujimayi*, n°5, 113-151p.
- [23] Polinard, E. 1925: Constitution géologique des régions de la Bushimaie et de la Lubi aux confins de la Province Congo-Kasai et Katanga. *Ann. Soc. Géol. Belg., Publ. Rel.C.B.*, 52, 4, C. 179-218.
- [24] Polinard, E. 1935: La géographie physique de la région du Lubilash, de la Bushimaie et de la Lubi vers le 6° parallèle Sud. *Mém. Inst. Roy. Col. Belge, sc.nat. et méd.*, in-4°, 4, 1, 31pp.

- [25] Raucq, P. 1956: Coupe dans le Mésozoïque de la région de Bakwanga -Kasaï, Congo belge. Ann. Soc. Géol. Belg., 79, B. 249-276 pp.
- [26] Raucq, P. 1970: Nouvelles acquisitions sur le système de la Bushimay. Ann. Mus. Roy. Afr. Centr., Tervuren, Belg. n°69,156p.
- [27] Raucq, P. (1975, Succession des événements géologiques de système de Bushimay, Géol. Congo, 214p.
- [28] NVuemba N, 1980: Minéralogie des mégacristaux, des xénolites éclogitiques et granulitiques et des inclusions minérales dans les diamants provenant de la kimberlite du Kasaï-Oriental (Congo), thèse, Univ. Louvain, 44-67p.
- [29] Winter, J. D., 2001. An introduction to igneous and metamorphic petrology. Prentice-Hall, Upper Saddle River, N.J., 697 p.

Rôle des Femmes dans les actions de récupération des terres et de gestion des sites restaurés au niveau de la Commune rurale de Simiri (Région de Tillabéry, Niger)

[Role of women in the actions of land recovery and management of restored sites in the rural municipality of Simiri (Tillabéry Region, Niger)]

Alhassoumi Hadizatou¹, Adamou Halidou², and Drame Yaye Aissetou³

¹Enseignante-chercheure, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Département Sociologie et Economie rurales, Niger

²Inayatou Ingénieure agro-économiste, Niger

³Enseignante-chercheure, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, Département Génie Rural, Eaux et Forêts, Niger

Copyright © 2023 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 study questions the place of women in the activities of the fight against soil degradation in the rural commune of Simiri. Its specific objectives are to assess the types of interventions that are carried out in the rural commune of Simiri, determine the role of women in these activities and assess the contribution of these activities to the productive status of the beneficiary women and to the gender relations. Quantitative and qualitative survey tools are used, in particular questionnaires, interviews and direct field observations. The results highlight a strong involvement of women in the activities, a strengthening of their participation in the material support of the household and in the decision-making process within the family.

KEYWORDS: CES/DRS activities, role, women, Simiri, Niger.

RESUME: La présente étude s'interroge sur la place des femmes au sein des activités de lutte contre la dégradation des sols dans la commune rurale de Simiri. Elle a pour objectifs spécifiques d'apprécier les types d'interventions qui sont menées dans la commune rurale de Simiri, de déterminer le rôle des femmes dans ces activités et d'évaluer la contribution de ces activités sur le statut productif des femmes bénéficiaires et sur les rapports de genre. Des outils d'enquêtes quantitatives et qualitatives sont mobilisés notamment des questionnaires, des entretiens et l'observation directe de terrain. Les résultats mettent en évidence une forte implication des femmes dans les activités, un renforcement de leur participation à la prise en charge matérielle du ménage et dans le processus de prise des décisions au sein de la famille.

MOTS-CLEFS: activités CES/DRS, statut, femmes, Simiri, Niger.

1 INTRODUCTION

Le Sahel est confronté depuis plusieurs décennies à un processus de désertification qui en fait une figure emblématique de la crise environnementale (C. Raynault, 1997, p.23). Cette situation a mis en exergue l'extrême fragilité du milieu sahélien avec un phénomène de désertification qui y est particulièrement actif, en raison non seulement des caractéristiques écologiques, mais aussi de l'exploitation, voire de la surexploitation du milieu dans un contexte de fort accroissement de la population et de maintien des règles et des pratiques. De ce fait, les systèmes de production sont de plus en plus déficients et les stratégies d'adaptation restent peu efficaces (A. Boureima et D. Lawali, 2014, p.17).

Le Sahel se caractérise par une insuffisance quantitative des précipitations mais aussi une irrégularité temporelle et spatiale de la pluviosité. Les ressources en terre productives sont en constance régression du fait, principalement de la pression démographique sur les terres et de leur exploitation minière. Il s'en suit une faiblesse de la fertilité (chimique et biologique) des terres, des processus de ravinements, d'ensablements et de déflation de la couche arable. Ces indicateurs générés par des processus physico-chimiques d'ordre naturel sont amplifiés par les actions anthropiques traduites par les défrichements, les déforestations, la colonisation agricole des terres marginales et le surpâturage (A. Boureima et D. Lawali, 2014, p.17).

A l'instar des autres sociétés sahéliennes, les sociétés nigériennes ont été affectées par l'aridification, la péjoration des qualités des sols et de la densité du couvert (A. Luxereau, 2014, p.156). Aussi, les années 1980 furent marquées par des nombreuses interventions en milieu rural. Ce,

pour faire face aux déséquilibres écologiques observés du fait de la forte pression démographique sur les ressources naturelles combinée aux effets du climat et ainsi renverser les tendances. Ces interventions se sont opérées et continuent de nos jours par le biais de projets (I. Bouzou Moussa et al., 2014, p.160).

Pour remédier à ce déséquilibre sans cesse croissant entre les besoins des populations et le potentiel de production agricole, l'activité principale de beaucoup de projets de développement rural se focalise sur la protection et la récupération des sols afin d'assurer une production stable: selon l'approche retenue et les réalités du contexte, certains intervenants mettent l'accent sur la protection du potentiel productif existant, d'autres s'adonnent plutôt à la récupération des sols dégradés afin d'élargir la base productive et de limiter l'érosion hydrique suite au ruissellement sur ces surfaces (M. Evequoz, 2000, p.11).

Entre autres projets ayant concerné le Nord du Niger, figure le projet PASP qui résulte de la coopération nigéro-allemande et qui a réalisé dans la partie nord du Niger des opérations de défense et de restauration du sol consistant en un ensemble de techniques de lutte contre l'érosion et la désertification et favorisant une meilleure valorisation agricole des sols (A. Yahaya, 2000, p.53).

Partout au Sahel, l'expérience a montré que les femmes étaient les principales actrices de la lutte contre la désertification (Monimart, 1989). En milieu rural, la détérioration des conditions de vie à la suite des sécheresses répétées, des crises socio-économiques et politiques, met à jour une situation de pauvreté qui affecte davantage les femmes. Le départ massif des hommes en migration entraîne un accroissement des responsabilités des femmes qui les exposent à la pauvreté (Alhassoumi, 2012). Leur mobilisation quasi-générale pour la protection de l'environnement a contribué certainement à rendre visible leur disponibilité en tant qu'actrices locales dont il faudra désormais tenir compte (Monimart, 1989; Alhassoumi, 2012).

Le Programme Alimentaire Mondiale (PAM) dans son approche de résilience, ainsi que d'autres institutions, convaincus du fait que les femmes représentent une potentialité considérable pour le développement de leurs activités, les mettent au cœur de leurs actions.

La présente étude a pour but de définir la place des femmes au sein des activités de lutte contre la dégradation des sols dans la commune rurale de Simiri. Elle se donne comme objectifs spécifiques de:

- Recenser les types d'interventions qui sont menées dans la commune rurale de Simiri ?
- Déterminer le rôle des femmes dans ces activités ?
- Évaluer la contribution de ces activités sur le statut productif des femmes bénéficiaires et sur les rapports de genre

2 MÉTHODOLOGIE

L'étude s'est déroulée dans la commune rurale de Simiri qui est l'une des quatre communes que compte le Département de Ouallam. Cette zone appelée le Zarmaganda a pour formes caractéristiques des vallées et des plateaux gréseux portant une brousse tigrée s'étendant du Sud jusqu'au 15° parallèle au Nord et au-delà, jusqu'à la frontière du Mali où se développent des cordons de dunes mortes d'orientation est-ouest. Le Zarmaganda « Berceau des Zarma » comme l'indique son étymologie, support spatial des premières installations des groupes zarma au XVI^e siècle, est aujourd'hui l'une des régions les plus déshéritées du Niger en raison non seulement de son enclavement et de sa pauvreté, mais aussi de son extrême vulnérabilité économique et de l'insécurité alimentaire quasi permanente qui y sévit depuis 30 ans (H. Mounkaila, 2002, p.162). Cette insécurité alimentaire peut prendre parfois des allures de crise pendant les années de fortes sécheresses comme ce fut le cas en 1973, 1984 et 1987 (ibid)

La commune de Simiri est située dans la partie Sud-Est du département de Ouallam et s'étend sur une superficie de 2233 km² entre les latitudes 14°3' et 15°50' Nord et les longitudes 1°52' et 2°34' Est (Figure 1).

Les sites concernés par l'étude sont ceux où intervient le Programme alimentaire mondiale. Il s'agit des sites de Bamana Gorou, de Satara, de Simiri et celui de Songantché. Sur ces sites interviennent les populations de 6 villages à savoir: Bamana Gorou, Koum, Lima, Satara, Songantché et Simiri. Les bénéficiaires des villages de Koum, Lima, Satara travaillent sur le même site notamment le plateau de Satara.

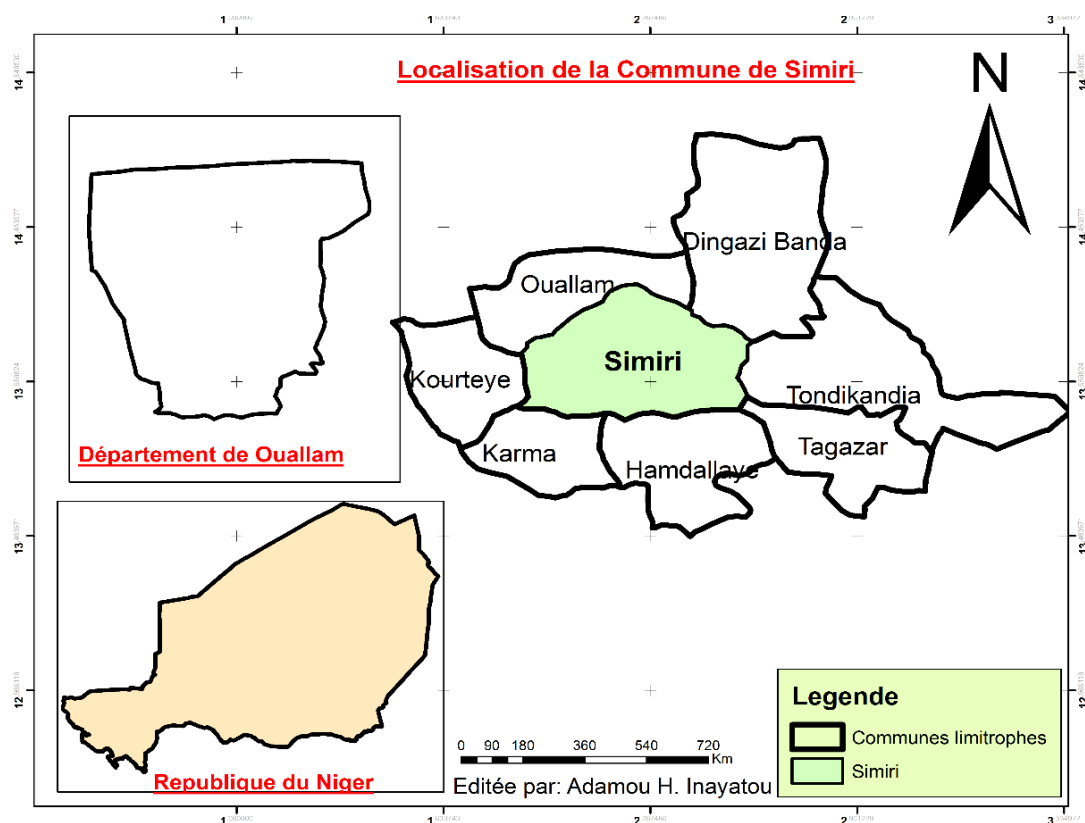


Fig. 1. Carte de la Commune rurale de Simiri ((Région de Tillabéry, Niger)

Les données ont été collectées par enquêtes essentiellement lors de stages de Master 2 en 2018-2019 et lors de visites complémentaires de terrain. Les enquêtes ont concerné les femmes et les chefs de ménage hommes de tous les villages qui participent aux activités du Programme alimentaire mondiale (PAM) dans la commune rurale de Simiri sur les quatre sites. Des enquêtes supplémentaires sont effectuées en novembre-décembre 2022 pour actualiser les données.

La méthode d'échantillonnage aléatoire simple a été choisie. Une liste de 244 bénéficiaires (dont 140 femmes) répartis dans les six villages a constitué la population cible de l'étude. Ainsi, un échantillon de 98 individus a été considéré représentant 40% de la population bénéficiaire. L'échantillon est composé de 56 femmes et 42 hommes (Tableau 1).

Tableau 1. Répartition des ménages échantillonnés parmi les bénéficiaires du PAM à Simiri

Villages	Ménages bénéficiaires/village	Nombre de ménages retenus/village	Pourcentage
Bamana gorou	30	12	12,25
Koum	40	16	16,35
Lima	30	12	12,25
Satara	35	14	14,30
Simiri	71	28	28,60
Songantché	38	15	15,30
Total	244	98	100%

Pour mener à bien ce travail, les outils de collecte suivant sont utilisés:

- La recherche bibliographique: il s'agit de l'exploitation des travaux déjà réalisés qui traite du sujet afin de mieux appréhender la thématique. A ce titre des thèses de Doctorat, des mémoires, des articles scientifiques, des publications des institutions de développement, des journaux sont consultés
- Des questionnaires ont été formulés à l'endroit des femmes bénéficiaires et des chefs de ménages hommes pour renseigner des variables comme: 1) l'identité des enquêtés; 2) les caractéristiques des ouvrages de récupération de terres; 3) Les divers rôles des femmes et des

hommes sur les sites; 4) la perception du changement apporté pour les personnes, les animaux ainsi que pour l'environnement; 5) le rôle des femmes dans les comités de gestion

- Des entretiens semi-directifs en focus group sont conduits autour des points suivants: 1) l'histoire du village; 2) les chocs et aléas climatiques connus; 3) le déroulement des activités sur les sites; 4) la composition et le fonctionnement des comités de gestion des sites; 5) le rôle des femmes dans les diverses commissions; des interviews sont destinés à des groupes de femmes uniquement, mais aussi à des groupes constitués d'hommes et de femmes

Des guides d'entretien spécifiques sont administrés au personnel de l'ONG d'exécution qui est l'ONG Karkara et aux personnels des services déconcentrés de l'Etat. Des fiches d'activités délivrées par les superviseurs de site ont été également exploitées.

Observation: Cette phase a débuté avec un premier séjour qui a eu pour durer un mois. Ce temps d'observation a été utile pour se familiariser avec le terrain, prendre le temps de se faire connaître et de rencontrer les populations des différents villages pour créer les conditions d'échanges fructueux. L'observation s'est poursuivie tout au long du séjour sur le terrain, elle a porté aussi bien sur les activités menées sur les sites que sur le quotidien de la population cible. Les visites de terrains ont été réalisées avec les encadreurs des sites ainsi qu'avec les présidents des différents comités de gestion.

Des entretiens semi-directifs et l'exploitation de fiches d'activités sont réalisées en novembre-décembre 2022 pour actualiser les données.

Les informations collectées ont été analysées avec le logiciel SPSS. Certaines données ont été transportées sur le logiciel Excel pour la confection de figures. Les données qualitatives ont fait objet d'analyse de contenu par triangulation des informations.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 LES CARACTÉRISTIQUES SOCIO-DÉMOGRAPHIQUES

Dans un premier temps les questionnaires et les focus groupes ont permis de collecter des informations sociodémographiques tels que l'âge des femmes enquêtées, leur situation matrimoniale et leur niveau d'instruction.

L'âge des femmes enquêtées varie de 25 à 74 ans. La grande majorité des femmes bénéficiaires ont un âge compris entre 25-50 ans avec une moyenne de 42 ans. En zone rurale, cette tranche d'âge est très active, ce qui explique leur très forte participation dans les travaux de récupération des terres sur les sites. Les femmes de la trentaine et quarantaine sont beaucoup plus nombreuses. Leur dynamisme est observé dans les travaux champêtres aussi. Pour celles qui dépassent la soixantaine elles se font remplacer par leurs enfants ou petits-enfants dans les travaux de CES/DRS mais participent à certaines activités telles que les semis, le compostage.

Les enquêtes révèlent que 80,1% des femmes sont des mariées, 16,8% des veuves, et 4,0% des divorcées. La proportion des femmes mariées est plus importante dans les activités à cause du départ massif des hommes en exode laissant les charges du ménage à leurs épouses.

57% des femmes enquêtées n'ont aucun niveau d'instruction, 18% ont le niveau primaire, 6% ont le niveau secondaire, 16% sont alphabétisées coranique et 2,8% ont suivi des formations d'alphabétisation. Le faible niveau d'instruction des femmes est un fait qui reflète la réalité de la zone. Les filles sont les plus susceptibles aux pressions d'abandon des études pour les travaux domestiques et champêtres et du mariage précoce. En effet, les données montrent une étroite liaison entre le niveau d'instruction et le poste de Mamans lumières qui sont des femmes qui dirigent les activités relatives à la réhabilitation nutritionnelle et soins aux enfants. Elles sont des considérées comme des modèles pour et par les autres mères. Leurs enfants sont toujours bien portants du fait de l'attention et du savoir de ses mères.

Cependant le savoir-faire dans la réalisation des ouvrages ne semble avoir aucun lien avec le niveau d'instruction.

3.2 LES ACTIVITÉS DE RÉCUPÉRATION DES TERRES À SIMIRI ET PARTICIPATION DES FEMMES

3.2.1 OUVRAGES ET APPRÉCIATIONS GÉNÉRALES

Plusieurs activités sont menées dans le cadre de l'intervention du PAM, cependant les travaux de conservation des eaux et des sols, de défense et de restauration des sols, CES/DRS sont les plus importants. Il s'agit des demi lunes, des banquettes, de la régénérescence naturelle assistée (RNA) et des cordons pierreux.

Ces travaux sont réalisés sur les plateaux dans les champs et les glacis. Pour la population le choix de ces sites s'explique par le fait que les champs sont situés au pied des plateaux et qu'en saison pluvieuse, les eaux de ruissellement, qui proviennent des plateaux, viennent endommager leurs cultures et les champs. Ces eaux apportent avec elles du sable, du gravier et des cailloux qui se déposent dans les champs et réduisent ainsi la fertilité des sols car la partie du sol qui contient de la matière organique est couverte par les cailloux et le sable. Il y a également le choix du projet pour certains sites notamment les glacis du village de Simiri.

Parmi les ouvrages réalisés, il y a des ouvrages à vocation agricoles et ceux à vocation pastorale. La finalité de ces ouvrages est d'obtenir un aménagement intégré et systématique des différentes unités écologiques du bassin versant (plateau, versant, glacis, champs). En effet, les

différents ouvrages permettent de freiner la vitesse d'écoulement des eaux, de favoriser l'infiltration de l'eau, la recharge de la nappe phréatique, de protéger les vallées contre l'ensablement, et tout cela à travers la création d'actifs productifs durables (banquette, demi-lune, zai, etc.) et utiles à la communauté.

Ouvrages à vocation sylvopastorale (Figures 2 et 3): De 2013 à 2018, les ouvrages réalisés dans la zone sont à vocation pastorale. Ces ouvrages sont constitués de demi-lunes et des banquettes. Plus de 120 hectares de terres ont été restaurés. La production de biomasse herbacée est importante sur ces sites ainsi que celle des ligneux. Mais la production dépend du type d'ouvrage, l'âge des ouvrages et les conditions favorables créées par les ouvrages offre une meilleure condition pour la régénération de certaines herbacées. La restauration écologique des plateaux Simiri a amélioré le taux de recouvrement de la flore herbacée et ligneuse ainsi que les propriétés chimiques du sol des ouvrages par rapport aux témoins. Cela a eu comme effet, le retour de la faune (présence de lièvres), une production importante d'arbres et de fourrage destinée aux pâturages.



Fig. 2. Site de Satara Beri aménagé



Fig. 3. Ouvrage sylvopastoral sur le Site de Satara

Ouvrages à vocation agricole: à partir de l'année 2019, tous les ouvrages réalisés sont à vocation agricole sur ces sites appelés nouveaux sites.

En effet leur mise en valeur s'inscrit dans le cadre du renforcement de la résilience et de la lutte contre l'insécurité alimentaire des populations. Ainsi pour la campagne agricole 2018-2019, la population bénéficiaire espérait avoir plus de 230 tonnes de céréales selon les estimations des experts. Mais la zone va connaître un arrêt des pluies de 47 jours au moment où le mil est en pleine épiaison. CE qui va compromettre les productions.

Les figures 4, 5 et 6 donnent une image de la mise en valeur des sites.



Fig. 4. Demi-lune agricole sur le plateau de Sognontché



Fig. 5. Demi-lune agricole sur le glacis de Simiri



Fig. 6. Ouvrages non mis en valeur sur les glacis de Simiri

Espèces plantées sur les sites: plusieurs espèces ligneuses et herbacées sont plantées. La grande majorité des espèces plantées étaient les choix des femmes. Ces espèces étaient choisies pour leur adaptabilité au terrain mais aussi à cause de leurs avantages socio-économiques. Il est constaté également sur les sites des espèces qui se sont régénérées naturellement. Le tableau 2 nous donne les différentes espèces ligneuses présentent sur les sites.

Tableau 2. Les différentes espèces ligneuses présentent sur les sites

Nom Scientifique	Famille	Nom en Haoussa	Nom en Zarma	Mode de mise en place
<i>Acacia macrostachya</i>	Mimosaceae	Gardayé	Gumbi, kubu-bi	Spontanée
<i>Acacia nilotica</i>	Mimosaceae	Marjee, Marje	Bani, Bilsa	Plantation
<i>Acacia senegal</i>	Mimosaceae	Dakwara	Danga Dada	Plantation
<i>Adansonia digitata</i>	Bombacaceae	Kuka, kuuka	Koo nya	Plantation
<i>Balanites aegyptiaca</i>	Balanitaceae	Aduwa, Adua	Garbey	Plantation
<i>Bauhinia rufescens</i>	Caesalpiniaceae	Dirga, jirga, shishi	Nammary	Plantation
<i>Combretum micranthum</i>	Combretaceae	Guéza	Kubu	Régénération
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Myrtaceae	Touraré	Touraré gna	plantation
<i>Faidherbia albida</i>	Mimosaceae	Gao	Gao gna	Plantation
<i>Guiera senegalensis</i>	Combretaceae	Sabara	Sabara	Régénération
<i>Maerua crassifolia</i>	Capparaceae	Jiga	Hassu	Régénération
<i>Piliostigma reticulatum</i>	Caesalpiniaceae	Kalgo	Kossai	Régénération
<i>Ziziphus mauritiana</i>	Rhamnaceae	Magaria	Darey	Plantation
<i>Datroum senegalense</i>	fabaceae	Tawra	Fantou	Plantation

Il y a d'autres espèces qui sont plantées aux alentours des concessions, qui sont dites cultures de case. Ces espèces sont cultivées pour des fins nutritionnelles tel que *Moringa oleifera*.

Les espèces herbacées ensemencées sont essentiellement *Pennisetum pedicellatum*, *Cenchrus biflorus*, *Andropogon gayanus* et *Cassia tora*. Ces herbacées ensemencées ont été choisies pour leur croissance rapide, leur pérennité, et leur valeur économique.

Les ouvrages sont appréciés en termes d'efforts de confection, en termes d'avantages et d'insuffisances. Ainsi, dans la réalisation des ouvrages, les femmes comme les hommes affirment que la confection des demi-lunes demande moins d'effort que celle des banquettes. Une seule personne peut confectionner jusqu'à trois demi-lunes par jour alors que pour faire une seule banquette il faut huit personnes.

Les enquêtes relèvent que les activités de récupération de terres ont eu des effets positifs significatifs. En effet le milieu hostile est transformé en milieu habitable pour les animaux grâce à la réalisation des ouvrages notamment les demi lunes pastorales qui retiennent une grande quantité d'eau. Les sols sont devenus plus productifs.

La distribution de vivres constituant essentiellement une forme d'incitation à la mobilisation active des populations aux diverses réalisations, participe de façon conséquente à l'alimentation des ménages en ces périodes dites de soudure où les stocks de production sont épuisés.

Cependant des insuffisances sont relevées sur ces sites en termes de non-respect des normes de conception des ouvrages de CES/DRS, notamment des associations d'ouvrages tels que la Demi-Lune dans l'impluvium des banquettes qui constitue une entrave à la fonctionnalité des banquettes; la disposition d'ouvrages qui souvent ne respecte pas le sens d'écoulement (deux demi-lunes peuvent être opposées); des normes (longueur, largeur, rayon, etc.) insuffisantes. On rencontre également des demi-Lunes de diamètre inférieur à 4 m, des zaïs mal excavés, etc.

Ces défauts dans la confection des ouvrages s'expliquent entre autres par: l'insuffisance de ressources humaines pour la supervision des activités car seulement 2 personnes sont mobilisées pour l'encadrements des 4 sites; le fait que les consignes ne soient pas respectées par les gens qui sont souvent pressés de finir afin de rentrer à la maison ou se font remplacer la plupart du temps par leurs enfants pour faire le travail; et le faible niveau d'instruction des paysans qui ne facilitent pas la compréhension et la maîtrise des techniques.

3.2.2 APPRÉCIATIONS DE LA PARTICIPATION DES FEMMES DANS LA RÉALISATION DES ACTIVITÉS AUTOUR DE LA RÉCUPÉRATION DES TERRES ET DANS LA GESTION DES SITES RESTAURÉS

La réalisation des ouvrages de CES/DRS par la population se fait sous l'encadrement des techniciens. Il ressort des enquêtes que les femmes participent activement aux travaux sur les sites. En effet, 86% des enquêtés confirment que les femmes participent à la confection des ouvrages sur les sites.

Les travaux de réalisation des ouvrages sont menés en grande partie pendant la saison sèche, période pendant laquelle la population est moins occupée par les travaux champêtres. Sur les sites, il n'y a pas de travaux spécifiques pour les femmes. Les hommes et les femmes font le même travail. La réalisation des ouvrages est de deux demi-lunes par jour et par bénéficiaire. Certaines femmes travaillent souvent en binôme afin de gagner du temps. Elles se font aider également par leurs enfants. Cependant le travail de traçage est confié à 100% aux hommes. Cela est expliqué par le fait que les hommes connaissent mieux le sens d'écoulement des eaux de pluies.

La quantité de travail hebdomadaire retenue est répartie comme suit:

- 4 jours de main d'œuvre active;
- 1 jour pour l'amendement organique des ouvrages (fumier, paille, reste de cultures, compost) et pour des travaux d'intérêt communautaire;
- 1 jour pour les formations et les sensibilisations

Les femmes jouent un rôle très important dans ces travaux où leur présence se remarque à tous les niveaux sur les sites. Elles sont également les plus appliquées dans le travail et leurs ouvrages sont les plus réussis. Ainsi, 63% des enquêtés affirment que les ouvrages faits par les femmes sont nettement mieux faits que ceux qui sont réalisés par les hommes. Cela semble s'expliquer par le fait que « les femmes mettent « du cœur » à faire les ouvrages ». Pour les femmes, bien faire les ouvrages est considéré comme une question d'honneur mais elles sont également poussées par la crainte d'être réprimandées par les encadreurs des sites. Un ouvrage qui est mal confectionné est en effet repris le jour suivant à la demande des encadreurs. Cette crainte d'être réprimandé devant les autres bénéficiaires, voire l'exigence de reprendre le travail pousse les femmes à mieux faire les ouvrages alors que les hommes eux ne semblent guère avoir cette préoccupation. Les femmes sont également les plus assidues sur les sites. Elles sont les premières sur les sites et les dernières à quitter, contrairement aux hommes. Le temps de travail de certains hommes ne dépasse pas deux heures sur les sites où ils se font remplacer par leurs enfants.

L'étude a relevé aussi un fait remarquable chez les femmes du village de Lima. La grande majorité de ces femmes affirment qu'elles ne participent plus aux travaux sur les sites. Elles estiment, en effet, que ce sont des travaux qui sont pénibles et se font remplacer par les maris sur les sites. Les hommes de Lima, de leur côté soutiennent qu'ils ne supportent plus de voir leurs femmes endurer de tels efforts physiques dans ces travaux. Mais à y voir de près, d'autres raisons peuvent motiver ces hommes à prendre la place des femmes dans ces activités. En fait, l'exode est très pratiqué par les hommes de Lima mais rapporte de moins en moins si bien que c'est essentiellement les ressources tirées des activités CES/DRS qui contribuent à la subsistance des familles. Les travaux sur les sites constituent donc une bonne opportunité pour les maris des femmes bénéficiaires du programme car les paiements reçus leur permettent d'assurer les besoins des ménages qui leur incombent en premier. Ce qui leur permet également de mieux asseoir leur autorité de chef de ménage. Par ailleurs, dans un contexte nigérien de plus en plus sous l'influence d'un intégrisme religieux musulman, ne serait-il pas une façon de contrôler, voire de limiter la mobilité des femmes comme ce fut le cas dans l'est du Niger où la saturation et le morcellement foncier a donné aux hommes l'opportunité de la pratique de l'interdiction des champs aux femmes « le koublin-gona » (Diarra et Monimart, 2006).

Après la réalisation des ouvrages, les femmes participent aux travaux de leur mise en valeur: au niveau des sites sylvo-pastoraux, il s'agit de l'ensemencement des sites en fourrages, la plantation d'arbres sur les sites, le suivi de la production fourragère et ligneuse et la surveillance des sites. Sur les sites agricoles, il s'agit du semis des céréales comme le mil, le désherbage et le désherbage des sites.

Les enquêtes ont relevé que l'ensemble des femmes bénéficiaires participent aux travaux sauf en cas d'empêchement, lorsqu'elles sont enceintes ou ont des nourrissons. On remarque parfois la présence des femmes qui viennent travailler à la place de leurs maris bénéficiaires. Mais il est à noter que les femmes ne participent pas à la surveillance des sites, à l'exception d'une seule sur le site de Bamana Gorou.

Après les travaux sur les sites, des bénéficiaires sont choisis au hasard des personnes qui bénéficieront des travaux de CES/DRS dans leurs champs. Les bénéficiaires choisis sont au nombre de deux par mois. Les enquêtes montrent que 5,3 % des hommes et 5,7 % des femmes ont bénéficiés des ouvrages CES/DRS dans leurs champs. Sur le pourcentage d'hommes les 2 % sont des membres des comités de gestion et au niveau des femmes seul 1,2 % sur les 5,7% sont des membres des comités de gestion. Lors du tirage, les hommes et les femmes ont la chance d'être choisis. Aucun privilège n'est accordé aux femmes ni aux membres des différents comités de gestion. Le choix par le hasard est bien respecté.

3.3 RENFORCEMENT DU RÔLE PRODUCTIF DES FEMMES

Après la réalisation des ouvrages, les bénéficiaires font des pépinières qui seront ensuite plantées sur les sites afin de recouvrir les terres dénudées. Les femmes jouent un rôle capital dans ces travaux. Les pépinières sont faites à côté des points d'eau tels que les puits et les forages pour faciliter l'arrosage et le suivi. Ce sont les femmes qui sont chargées des corvées d'eau ainsi que du suivi et de la surveillance des plants. Elles sont responsabilisées sur ces tâches car de par la division sociale du travail, elles sont plus familiarisées aux points d'eau que les hommes. On note, cependant, des hommes qui aident les femmes dans la surveillance des plants surtout contre la divagation des animaux. Il a été remarqué à travers les enquêtes, que les hommes qui s'adonnent aux travaux de pépinières le font plus pour leur propre compte.

Les enquêtes ont révélé qu'il y a une prédominance des femmes dans la fabrication du compost dans tous les villages enquêtés. Il a été constaté que même dans les compostières des hommes, ce sont leurs épouses en grande partie qui assurent l'approvisionnement avec les ordures ménagères. Ce compost fabriqué par les bénéficiaires sert à amender les ouvrages des sites mais seules les femmes apportent l'intégralité de leur compost sur les sites alors que les hommes eux n'apportent qu'une partie. L'autre partie est utilisée pour amender leurs propres champs. Cependant il y a des grandes lacunes dans la fabrication du compost. Étant constitué en grande partie des ordures ménagères, ce compost ne répond pas aux normes d'un bon compost de par sa texture, sa couleur et sa composition.

Il est à noter une appropriation des techniques de fabrication du compost dans les villages tant chez les hommes que chez les femmes. Notamment dans le village de Bamana gorou, Lima, Satara et Songontché. Après amendement des ouvrages des sites, certains bénéficiaires

continuent à fabriquer du compost pour leurs champs. Les femmes aussi utilisent le compost pour l'amendement de leurs jardins potagers et sur leurs sites de maraichage.

Il arrive souvent que certains maris utilisent le compost de leurs femmes pour amender le champ familial sans le consentement de la femme, alors que ce compost devrait lui servir pour l'amendement de son lopin de terre où elle cultive des spéculations comme le sésame, l'arachide, le niébé, le voandzou, le gombo et autres. Ces terres sont les plus dégradées et les plus éloignées pour la plupart des femmes contrairement à ceux des hommes qui n'ont pas encore connu de dégradation trop poussée. De ce fait certaines femmes font jusqu'à deux compostières afin de pallier ce problème.

13% des femmes enquêtées affirment qu'elles possèdent deux compostières et du côté des hommes le taux est de 5,6%. Les femmes qui pratiquent le maraichage sont les plus actives dans la fabrication du compost, et on les retrouve dans les villages de Satara et Bamana Gorou et à Simiri où le maraichage est plus pratiqué. Parmi ces femmes, on compte même des femmes non bénéficiaires qui font aussi du compost.

Les activités réalisées ont produit des résultats dans le sens de l'amélioration de la résilience de personnes ciblées à travers l'accessibilité/disponibilité alimentaire permettant l'amélioration de l'état nutritionnel et de la productivité grâce à la couverture d'un certain nombre de mois par la production agricole. Ces actions ont également contribué à réduire l'exode rural et a permis la protection des moyens d'existences à travers la création des AGR. Ces activités ont participé à l'amélioration dans les rapports sociaux notamment par ces effets sur la cohésion sociale et l'entraide. Les femmes parlent beaucoup de « conservation de la dignité, bangou baabey » à travers la pratique des tontines qui sont des caisses d'épargne et de crédits organisées entre les femmes. La pratique est particulièrement développée dans le village de Satara où les femmes ont instauré une tontine qui permet de rassembler les femmes du village chaque deux semaines avec une cotisation de 50 FCFA par femme. Cet argent sert à la reconstruction de l'enclos du jardin potager des femmes, assurer l'achat des semences et autres dépenses personnelles. Cette initiative semble avoir renforcé la confiance en soi et l'estime de soi chez les femmes.

D'après les enquêtes, près de 40% des femmes ne menaient pas d'activité lucrative, ces femmes vivent juste de la récolte, de la cueillette (des feuilles) et des dons de certains membres de la famille ou des voisins.

L'exode constitue une des plus grandes activités génératrices de la localité. Ce phénomène qui s'inscrit dans une stratégie d'adaptation à l'insécurité alimentaire dans le Zarmaganda (Mounkaila H., 2002) concerne tant les hommes que les femmes. 37% des femmes enquêtées affirment qu'elles pratiquaient également l'exode. Les hommes sont les premiers à quitter souvent avant même les récoltes. Ils partent vers la capitale ou encore vers les pays comme le Togo, la Côte d'Ivoire, le Bénin, le Ghana. Ces hommes passent souvent plusieurs mois sans donner des nouvelles laissant la charge du ménage à leur épouse. C'est une situation insoutenable pour les femmes qui à leur tour quittent pour la capitale où les moins âgées travaillent comme des domestiques. Les femmes plus âgées n'ayant pas la force de faire des travaux domestiques errent dans les marchés de céréales de la Capitale, aux endroits de déchargement des camions afin de pouvoir ramasser les grains qui tombent. Ces grains une fois collectés, sont arrangés et transformés en farine puis envoyé pour leurs enfants au village. Certaines de ces femmes cueillent des feuilles comestibles d'*Acacia tora* et de *Leptadania hastata* sur les plateaux de la périphérie de la ville. Elles les prépareront ensuite puis les vendent en ambulatoire dans la ville ou sur les marchés. On retrouve également celles qui font le lavage ambulatoire des marmites.

D'autres sont considérées comme des « chanceuses » car elles ont des petits travaux pour les familles plus aisées du village en contrepartie de vivres ou de l'argent. Elles font les corvées d'eau, l'approvisionnement en bois ou encore le pilage.

Plusieurs activités génératrices de revenus ont été développées à la suite des interventions de développement. L'opération Food For Asset (FFA) a favorisé la création d'actifs productifs aux ménages très vulnérables à travers la confection des ouvrages de récupération des terres dégradées dans leur terroir. Cette opération leur procure des rations de vivres en compensation de leur travail. Ils protègent ainsi leur base productive constituée principalement des maigres têtes d'animaux pour certains et la vente de la main d'œuvre pour les dépourvus ou très vulnérables, ce qui crée en eux une certaine résilience aux chocs liés à l'insécurité alimentaire et nutritionnelle.

Les bénéficiaires reçoivent un ratio de vivres chaque mois, composé d'un mil/riz, un sac de niébé (50kg) ou de lentilles, 8 litres d'huile, 2 kg du sel et de la farine enrichie pour les familles qui ont des nourrissons. Grâce à ce ratio, certaines femmes ont pu développer des AGR à travers la transformation de ces céréales. Elles font des beignets, des galettes, de la bouillie et autres qu'elles vendent. Il y a également celles qui font l'embouche et le maraichage. Cette dernière activité est plus pratiquée par les femmes de Bamana Gorou, Satara et Simiri. 31,7% des bénéficiaires font du petit commerce; 35,1% font l'embouche; le maraichage est pratiqué par 16,9% des bénéficiaires.

L'embouche rapporte des revenus aux femmes. En effet, selon les enquêtes menées, plusieurs femmes bénéficiaires ont déclaré qu'elles ont en moyenne deux à cinq têtes de caprins ou ovins. Ces animaux sont vendus au bout de quatre à cinq mois d'embouche, durée moyenne d'embouche. Selon le témoignage d'une femme, un ovin acheté à 35000 FCFA sera vendu à 75000 FCFA à l'approche des fêtes. Cela peut générer une marge de plus 15000 FCFA en tenant compte de toutes les charges afférentes à l'embouche et à la durée de l'activité.

Les revenus générés par les activités conduites par les femmes accroître le bien-être familial. Les femmes contribuent financièrement de conséquence au fonctionnement du ménage. A cet effet, 79,8% des femmes enquêtées affirment qu'elles consacrent la totalité de leur revenu mensuel estimé en moyenne à 8600 FCFA aux dépenses de leur foyer. En plus les femmes ont trouvé le moyen de faire plus fructifier leurs revenus et cela grâce aux tontines.

3.4 PRISE D'INITIATIVES ET AMÉLIORATION DU STATUT DES FEMMES

Les dépenses auxquelles se consacrent ces femmes tournent essentiellement autour de l'alimentation, des cérémonies et les fêtes (baptêmes, mariages, décès) et l'éducation des enfants. Les dépenses alimentaires sont les plus importantes avec 51,3% car la plupart des enquêtées affirment qu'elles dépensent plus dans l'alimentation afin d'apporter une variation et une meilleure qualité dans l'alimentation de leurs familles. Au lieu de juste se contenter des rations distribués, elles disent les varier souvent avec des pâtes alimentaires, du riz, de la viande, du poisson si possible et autres ingrédients. Les dépenses lors des cérémonies et les fêtes sont non négligeables. Elles assurent également les dépenses scolaires comme les fournitures scolaires et la cotisation du comité de gestion.

Selon nos enquêtes, la contribution des femmes aux dépenses des ménages leur donne une place dans la prise de décisions du foyer. 53% des femmes bénéficiaires enquêtées affirment qu'elles participent activement dans la prise de décisions du ménage, et que cette implication est rendue possible par leur participation à la prise en charge. Ces femmes sont les gestionnaires des biens du ménage telles que les vivres, leurs revenus, une partie du bétail du ménage, l'éducation. Ainsi, elles obtiennent ou consolident un pouvoir de négociation au sein de la famille. Les 47% de femmes sans implication perceptible dans les décisions familiales représentent pour la plupart celles qui vivent dans leurs belles familles et/ou qui n'ont pas de revenus conséquents.

L'observation et les enquêtes montrent que la voix des femmes est fortement imposante sur les sites de travail et dans les comités de gestion des sites. La prise des décisions sur les travaux ou les modifications des décisions sont faites par la consultation de tous les bénéficiaires lors d'une Assemblée Générale. La participation des femmes est très importante car c'est grâce aux femmes qu'il y a eu certaines modifications qui ont permis d'alléger le travail de l'ensemble des bénéficiaires. Des modifications et des décisions comme:

- La confection des ouvrages qui était de trois ouvrages par jour et par bénéficiaire jadis, est ramenée à un ouvrage par jour et par bénéficiaire. Cela s'est fait de façon progressive et sur insistance des femmes. Elles trouvaient que faire les 3 ouvrages par jour était trop pénible pour elles car après les travaux sur les sites, elles devraient aussi s'occuper des tâches ménagères contrairement aux hommes qui après les activités sur les sites profiteront pour se reposer
- L'acheminement des plants des villages aux sites qui se faisait par les femmes grâce aux " *Tagala* " (des équipements utilisés par les femmes pour transporter de l'eau et autres choses) est désormais assuré par les charrettes à partir de cette année, car en grande partie, ce sont les femmes qui assurent l'acheminement des plants sur les sites. Cela prenait des jours et retardait la plantation. Aussi beaucoup de plants étaient jetés à mi-chemin à cause du trajet. Mais surtout à cause du poids du sable. Ce qui s'avère très rude pour les femmes. Ce changement est exigé par les femmes qui ont proposé que chaque chef assure le transport des plants par des charrettes. Cela a permis de gagner en temps car le transport est fait une seule journée
- La grande majorité des ménages consacrent entièrement leurs revenus aux besoins alimentaires et il existe une perception omniprésente de la collusion du marché qui fait monter artificiellement le prix des denrées de base. Les femmes ont donc exprimé leur préférence pour la nourriture plutôt que pour le paiement en espèces. Le choix des femmes fut retenu en octroyant du vivre aux bénéficiaires

Grâce à la participation des femmes aux actions, des femmes ont acquis des rôles et des places qu'elles ne possédaient pas avant. Par exemple, pour celles qui vivent dans la grande famille (avec les beaux-parents), elles se sont vues dispensées de certaines tâches et sont souvent consultées pour certaines décisions. Et cela s'explique par leur contribution aux dépenses de la famille.

3.5 IMPLICATION DES FEMMES DANS LES STRUCTURES DE RESPONSABILITÉ ET ÉMERGENCE DE FIGURES FÉMININES

Les comités de gestion: le comité de gestion du site de Simiri est composé de 6 membres dont 2 femmes. Ce comité est subdivisé en deux comités: le comité de gestion des activités et le comité de plainte. Chacun de ces comités est constitué de 3 membres dont une femme. Ainsi, elles représentent 33,33% des membres du comité de gestion. Le comité de gestion de Bamana Gorou, celui de Sogontché et celui de Simiri comptent tous 33,33% de femmes.

Mais le comité de gestion du site de Satara est le plus ancien et le grand comité des sites de la localité. Il compte 13 membres dont 5 femmes. Les femmes représentent alors 38,46%. Le rôle de ces comités est de veiller au bon fonctionnement des activités. Il existe des sous-comités qui ont des rôles bien spécifiques selon les domaines précis.

Les sous-comités: Les équipes de travaux sur les sites sont composées de 20 personnes par équipe. L'équipe est dirigée par un chef d'équipe qui s'assure du bon déroulement des tâches données à son équipe et doit s'assurer de la participation de tous les membres de son équipe. Tous les travaux se font en équipe. Pour les 4 sites, on compte 17 équipes. Une seule équipe est dirigée par une femme, c'est aussi l'équipe reconnue la plus dynamique du site de Simiri.

La commission Régénération Naturelle Assistée, RNA: à ce niveau, la participation des femmes dépend du site. La participation des femmes est importante dans la commission aux niveaux des sites de Bamana Gorou, Satara et Simiri. Mais les femmes restent absentes au niveau de la commission de Sogontché car aucune femme ne s'est présentée comme candidate.

La commission compostage: dans cette commission, le quota des 30% qui représente la place des femmes est bien respecté sur tous les sites. La représentation des femmes est à cet effet de 33,33%.

Tableau 3. Répartition des membres de la commission RNA selon le genre

Site \ Sexe	Hommes	Femmes
Bamana Gorou	66,66%	33,33%
Satara	50%	50%
Simiri	66,66%	33,33%
Sogontché	100%	0%

Il ressort des fiches de synthèse de supervision de l'ONG d'exécution Karkara que de 2019 à 2022, les sites FFA sont passés de 4 à 26 sites. La participation des femmes dans les comités de gestion est devenue obligatoire et elles représentent 43% des membres. Dans certains sous-comités notamment ceux relatifs à la gestion des bourses pour les adolescentes, les femmes représentent plus de 78% de l'intégralité des membres, car elles sont considérées comme celles qui connaissent mieux les familles dans les villages. Donc leur participation est jugée indispensable lors des ciblage des adolescentes scolarisées et lors des distributions des bourses. Par ailleurs, il semble que l'implication des femmes permet d'éviter les fraudes.

4 CONCLUSION

A l'instar des autres sites de travaux de confection d'ouvrages antiérosifs, sur les sites de la Commune de Simiri, il est enregistré une forte mobilisation des femmes. Leur participation active aux activités et leur implication progressive dans la supervision et surtout au sein des différents comités de gestion, témoignent d'une certaine capacité à s'investir mais aussi à se maintenir dans l'espace public. Le renforcement de leurs capacités productives et de génération de revenus contribuent certainement à la justification de leur présence dans la sphère publique.

Par ailleurs, les interactions sociales au cours des activités collectives ont mis en évidence certaines qualités des femmes notamment le sens de l'engagement et du bien faire qui ont contribué à l'amélioration des résultats. Les femmes ont gagné aussi en termes de confiance en soi, d'estime en soi, de prise de parole en public et de pouvoir de négociation.

Cependant, il y a lieu de se demander si ces acquis seront suffisants pour aboutir à une redéfinition des rôles sociaux et des normes sociales relatives à l'appropriation des ressources naturelles notamment la terre, en faveur des femmes.

REFERENCES

- [1] ALHASSOUMI, H., 2012, Innovations, dynamiques et mutations sociales: les femmes productrices de sésame de la Sirba et leurs initiatives collectives, Thèse de Doctorat, Université Toulouse 2 le Mirail, 309 p.
- [2] BOUREIMA Amadou et LAWALI Dambo, 2014, Sahel entre crises et espoirs, L'Harmattan, Paris, collection Etudes africaines, 362 pages.
- [3] BOUZOU MOUSSA Ibrahim, FARAN MAIGA Oumarou, IBRAHIM Mahamadou Bouhari, LONA Issaka, 2014, « La dynamique érosive dans la vallée de Keita (région de Tahoua, Niger) », in Sahel entre crises et espoirs sous-direction BOUREIMA Amadou et LAWALI Dambo, L'Harmattan, Paris, collection Etudes africaines, p 159-176.
- [4] DIARRA, M. et MONIMART, M. 2006, *Femmes sans terres, femmes sans repères ?* Genre, foncier et décentralisation au Niger, Dossier N°143, iied, 50 p.
- [5] EVEQUOZ Michel, 2000, «Dynamiques de la matière organique et durabilité des systèmes de production nord sahéliens» in *Annales de l'Université Abdou Moumouni de Niamey*, Innovations technologiques et transfert dans les domaines de la gestion conservatoire des eaux et des sols N° hors-série, p.11-28 pages.
- [6] Monimart M., 1989, Femmes du sahel, la désertification au quotidien. Edition Kartala/OCDE Club du Sahel. Paris, France. 167 pages.
- [7] Mounkaïla Harouna, « De la migration circulaire à l'abandon du territoire local dans le Zarmaganda (Niger)», in *Revue européenne des migrations internationales*, vol. 18 - n°2, 2002, 161-187.
- [8] RAYNAULT Claude, 1997, Sahels: Diversité et dynamiques des relations sociétés-nature, Karthala, collection Hommes et Sociétés, Paris, 430 pages.
- [9] Yahaya, Abdou, 2000, « Evaluation de l'impact économique et social des ouvrages anti-érosifs du projet agro-sylvo-pastoral II (PASP), au niveau des sites agricoles de Saaga et de Gassikaina (Tillabéry – Niger) » in *Annales de l'Université Abdou Moumouni de Niamey*, Innovations technologiques et transfert dans les domaines de la gestion conservatoire des eaux et des sols N° hors-série, p.53 - 69.

Accurate evaluation of Land Use Land Cover (LULC) Dynamics in the Southern part of Mali, West Africa

Oumou Diancoumba¹, Adama Touré², Ibrahima Daou³, Seriba Konaré³, and Hamadoun Bokar²

¹Département des Sciences de la Vie et de la Terre (DER-SVT), Ecole Normale Supérieure de Bamako (ENSUP), B.P. 241, Bamako, Mali

²Département de Géologie, Ecole Nationale d'Ingénieurs Abderrahmane Baba Touré (ENI-ABT), B.P. 242, Bamako, Mali

³Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou (IPR, IFRA), BP 224, Koulikoro, Mali

Copyright © 2023 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 an area, the spatial and temporal variation of the various units of LULC is the response of natural and socioeconomic factors and their spatial usage by human. This LULC differs from one type to another. The LULC change affects negatively the natural resources because the process is irreversible. Thus, the analysis of monitoring and quantitative of the changes in land use over time and identification of landscape pattern variation related to growth modes in different periods are essential. Change in land use is one of the difficult that exacerbate environmental problems. The complex and dynamical land use/land cover change at different scales has environmental implications. Previous studies investigated mainly the basic socioeconomic drivers of LULCC.

Remote sensing is a central tool for making Land use and land cover maps via the classification from satellite images. For correct image classification, there are factors that could be considered which are: the accessibility of Landsat imagery quality and secondary data. Moreover, the accurate classification and the experiences from the users and expertise in the procedures are required. The chief aim of this work was to evaluate the land-use/land-cover change of the study zone from 1990-2016 applying remote sensing and Geographical Information System (GIS) techniques. This work comprises two parties (1) Land Use/Land Cover (LULC) classification and (2) the evolution of the spatiotemporal dynamics of the diverse units of LULC over the study area. The Envi 4.5 Software coupled with Arcgis was used to make the supervised Classification of Land Use Land Cover. Five dominant LULC classes, bareland, cultivated land shrubby savannah, herbaceous savannah and degraded savannah, were recognized in the catchment. The outcomes showed that the ration of cultivated land augmented to 14.9 % and bare land increased by 23.5 % however, the savannah classe decreased: degraded savannah by 10.32%, herbaceous savannah by 24.4%, and Shrubby Savannah by 3.6 %. The evaluated coefficient of kappa (K) was classified satisfactory with a range from 82% to 91 %.

Savannah areas in studied catchment is converted to agricultural land and urban area due to human activities. The knowledge of the variation in terms of time and space of the LULC change could be a management resources tool for the decision makers and prevent the natural risks. The results of this current research could help to well understanding the different water cycle components within the Koda catchment under a changing LULC.

KEYWORDS: LULC change, Remote Sensing, GIS, Koda catchment, Mali.

1 INTRODUCTION

In several countries specially in developing countries, one of the major driving forces of general environmental change is Land Use and Land Cover (LULC) change (Botlhe et al., 2019). According to Wondie et al. (2011), the economy of many countries is mainly negatively affected due to LULC effects. Changes in the LULC are mostly due to the intensity of land use and the surface area extension. Temporally, LULC changes from a few months to some years, characterized by short term and long changes, respectively (Lambin & Ehrlich, 1997). The long-term change is one of the main concern and the most important for general environmental change. Additionally, water resources (groundwater and surface water) are managed by many factors including the LULC change (Stonestrom et al., 2009; Ashaolu et al., 2019). Numerous authors (Scanlon et al., 2005; Lin et al., 2018; Ashaolu et al., 2019) have examined the long term LULC

change to assess the sustainability of natural resources. Most of the results from the previous researches showed clearly that the causes of LULC change are mainly being of natural and anthropogenic effects (Tamba & Li, 2011; Pervez & Henebry, 2015; Yin et al., 2017; Diallo et al., 2019). The anthropogenic effects are based on the increases of population growth rate, rural-urban migration, agricultural expansion, deforestation and climate change. In developing countries urban land expansion has been detected since the 1980s that is more related to urban population growth than the growth in the Gross Domestic Product (GDP) (Ashaolu et al., 2019). In West African countries, large of extents of natural land cover classes have been substituted by human influenced landscape chiefly dominated by agriculture (CILSS, 2016). Several populations from the rural are migrating for a better survival opportunities (Pandey et al., 2013). So to take care of the growing population, the agricultural land area has been enlarged to meet the food demand (Jamtsho & Gyamtsho, 2003). All these activities contribute to LULC changes. In Mali, the parts of savannah and forests land have been decreased by 23 % from 1975 to 2013 (CILSS, 2016), this is mainly due to the population growth and food demand.

The southern portion of Mali including the study area is the greatest populated region over the country, which increase high fresh water demand. The population of the study area known an increase of 26 % from 2009 to 2019, with 3.6 % of population growth rate (RGPH, 2009). The main land use in the catchment is agriculture. Then, quantification of LULC change is crucial to better understanding the variability and its ecological impacts on the natural resources (Turner, 2005). The focus of this study is to evaluate the effects of LULC change on groundwater resources over Koda catchment from 1990-2016 period. To attain this objective, the remote sensing coupled with GIS is used to study the dynamics of the LULC over Koda catchment between 1990 and 2016. The supervised classification method has been used to classify the LULC classes existing in Koda catchment.

In the current study, the dynamics of LULC change was assessed for the period 1990-2016 and the outputs could be used for water resources management tool.

The study area, Koda cathment, is located in the semi arid zone of West Africa. It, occupies the southern part of Mali at 120 km in the North of Bamako, capital of Mali. Koda catchment lies between in Latitude: 13° 56' 00" N and 12° 57' 80" N and Longitude: 7° 30' 8" W and 8° 28' 5" W. With a surface area of about 4921 Km² the Koda catchment belongs to sudano-sahelian climate. The mean annual temperature is about 28.3°C with minimal temperature varying from 15°C to 26.6 °C and the maximal temperature ranges from 31.4 °C to 40.5 °C (Diancoumba et al., 2018). The overall annual minimum of precipitation for the last 30 years (1987-2016) is 500.4 mm in 1992 and the maximum in 1164.3 mm in 1988 at Katibougou station, while the overall average is 836 mm (Diancoumba et al., 2020).

The main crops are millet, maize, cotton etc. Two types of permeability are characterized the catchment, the porous permeability in the sandstones and the permeability due to the fissures in the dolerites (Diancoumba et al., 2019).

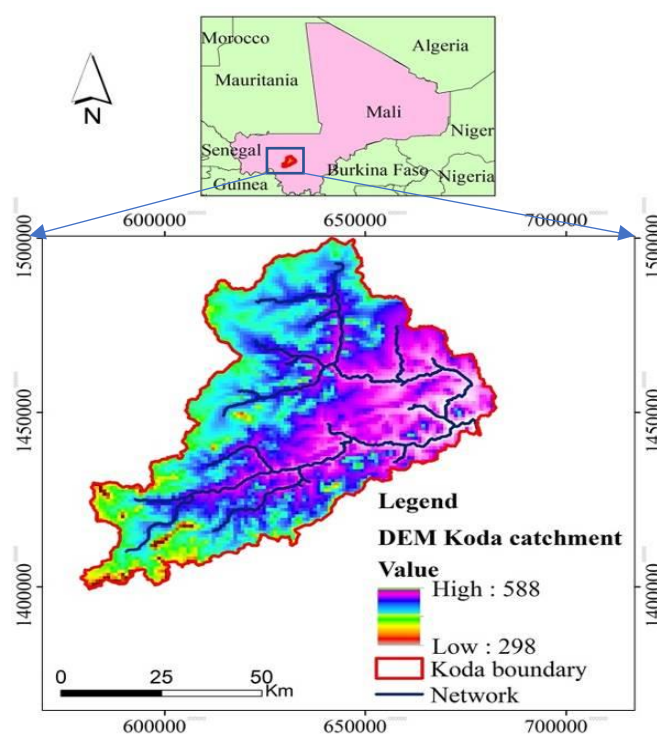


Fig. 1. Location of the study area

2 OBJECTIVE OF THE STUDY

The main aim of this research is to assess the dynamics of the Land Use and Land Cover change in the past 27 years (1990-2016) using Remote Sensing and Geospatial Information System (GIS) techniques. The choice of those years has been based on the availability of the Landsat data set with good quality.

3 METHODOLOGY

The Supervised Classification method, using Envi 4.5 Software coupled with Arcgis 10.3, was applied to subset Landsat images from 1990 to 2016.

The production of the land cover map requires the coordinates of some points that were taken throughout the catchment scale on May 2016. This is based on the presence of no cloud from the images in this period of the year. These points have been selected as the unit pixel of the study area to facilitate the land cover classification. The supervised classification method was chosen using the Envi 4.8 software, and the Landsat images, downloaded from the USGS website¹, were used for that. Three years of Landsat images (March 1990; March 1998 and February 2016) were used in evaluating the evolution over time of LULC change. The time steps of the Landsat images are based on the quality of the available data. The output from Envi software was used into ArcGIS for the mapping purpose (Figure 2).

Figure 2 shows the flow chart of the methodology used in this study.

Maximum likelihood classification algorithm was applied to get the best algorithm for classification. The threshold option has been used to calculate the area of each LC units over the Koda catchment.

The change of LULC over Koda catchment was carried out based on the 1990, 1998 and 2016 LULC maps developed for the catchment. Using the overall function in ArcGis 10.3 and the Microsoft excel 2007, the percentage changes in LULC was calculated for the twenty-seven (27) years period.

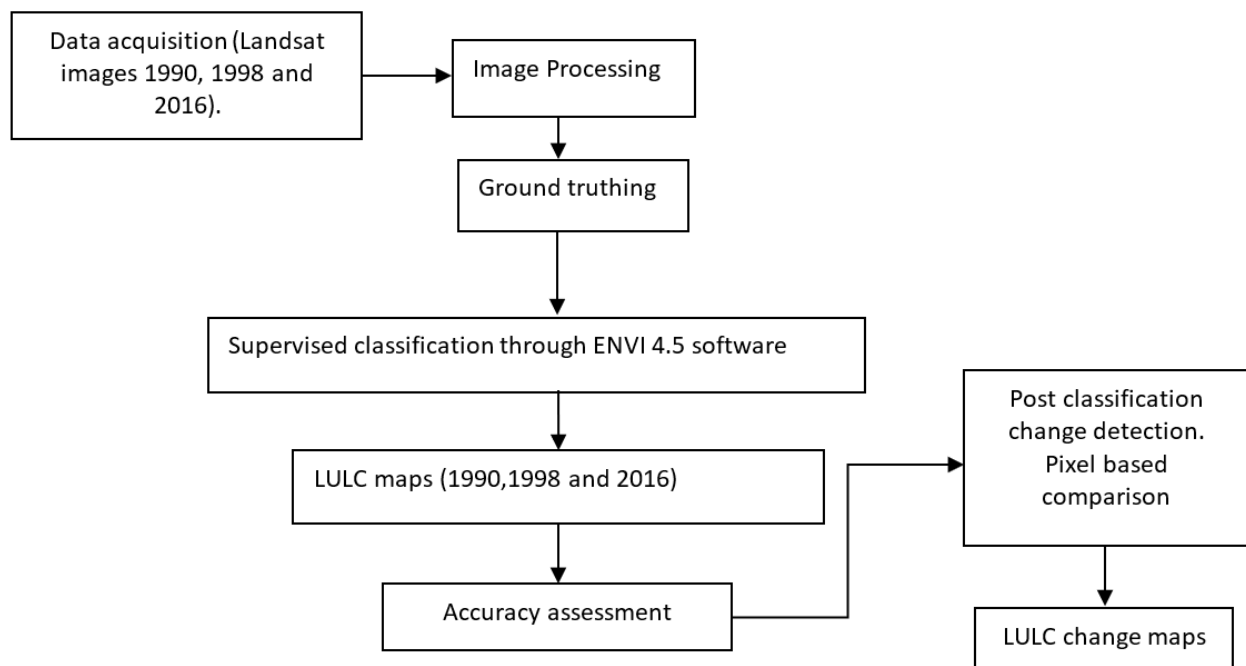


Fig. 2. Flow chart of the methodology of LULC change

¹ <https://www.usgs.gov/earthexplorer>

The main objective of this work is to evaluate the dynamics of the land cover change in the past 27 years. The choice of those years is mainly due to the availability of the Landsat data set with good quality.

4 ACCURACY ASSESSMENT

The coefficient of KAPPA (K) has been evaluated in the view to better assess the classification of LULC units done over Koda catchment. The Kappa coefficient (K) is computed based on the error matrix (equation 1).

According to Amler et al. (2015) and Ren et al. (2018), the K value is used to evaluate the accuracy of remote sensing data using equation (1).

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^n P_{ii} - \sum_{i=1}^n (P_{i+} * P_{j+})}{N^2 - \sum_{i=1}^n (P_{i+} * P_{j+})} \quad (1)$$

Where P_{ij} is error matrix, P_{i+} row total pixel, P_{j+} column total pixel, P_{ii} corrected mapped pixel of a particular class i and N total number of pixel.

The quantification disagreement and allocation disagreement method have been proposed by Pontius & Millones (2011) and showed the limitations of the use of the K values in comparing the maps viewed. Nevertheless, in several studies, K is still considered as a vital tool for accuracy assessment measurement (Biondini & Kandus, 2006; Ren et al., 2018). The value of K that shows the consistency of data classification has been statistically classified by Fitzgerald and Lees (1994) from poor to excellent as follows:

Poor if $K < 40$

Good if $40 \leq K < 75$

Excellent if $K \geq 75$

5 RESULTS AND DISCUSSION

5.1 DYNAMICS OF LULC

The Koda catchment is mainly characterized by five (5) types of Land Cover units and these are Herbaceous Savannah, Degraded Savannah, Cultivated Land, Shrubby Savannah and Bareland. These five (5) types of LULC over the study area could be represented by three major types of LULC based on the classification proposed by Penman et al., (2003) in the IPCC Guidelines in the Kyoto protocol in 2001. The three LULC are savannah, cropland and settlement. Savannah is represented by three types of savannahs: herbaceous savannah, Shrubby Savannah and degraded Savannah. The cropland includes the cultivated land which is seasonal rained crops land and farms. Settlement is called bare land in this study and it is defined as villages, towns and cities, roads and others buildings.

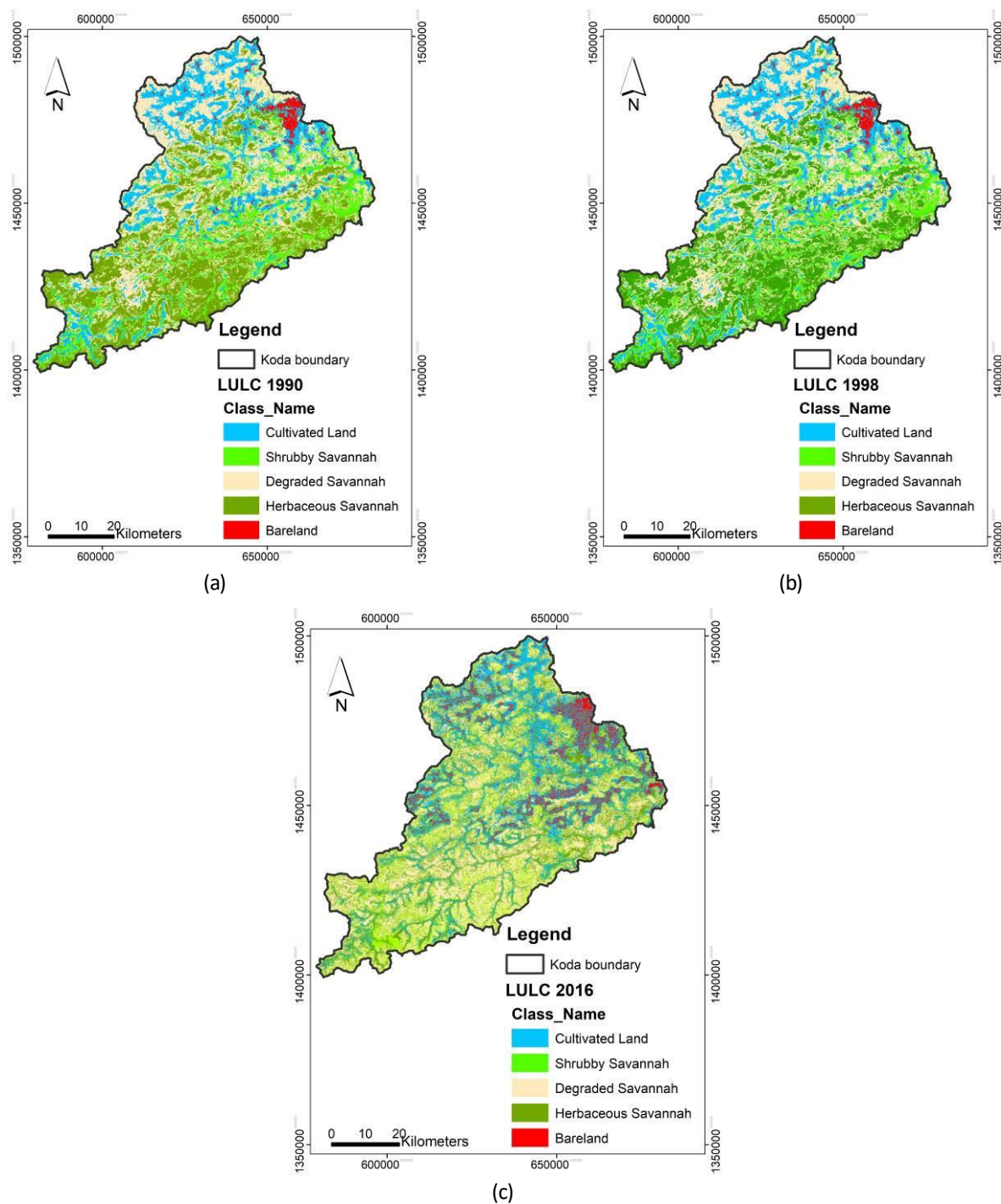


Fig. 3. Different units of LULC in the Koda catchment, (a) year 1990, (b) year 1998 and (c) year 2016

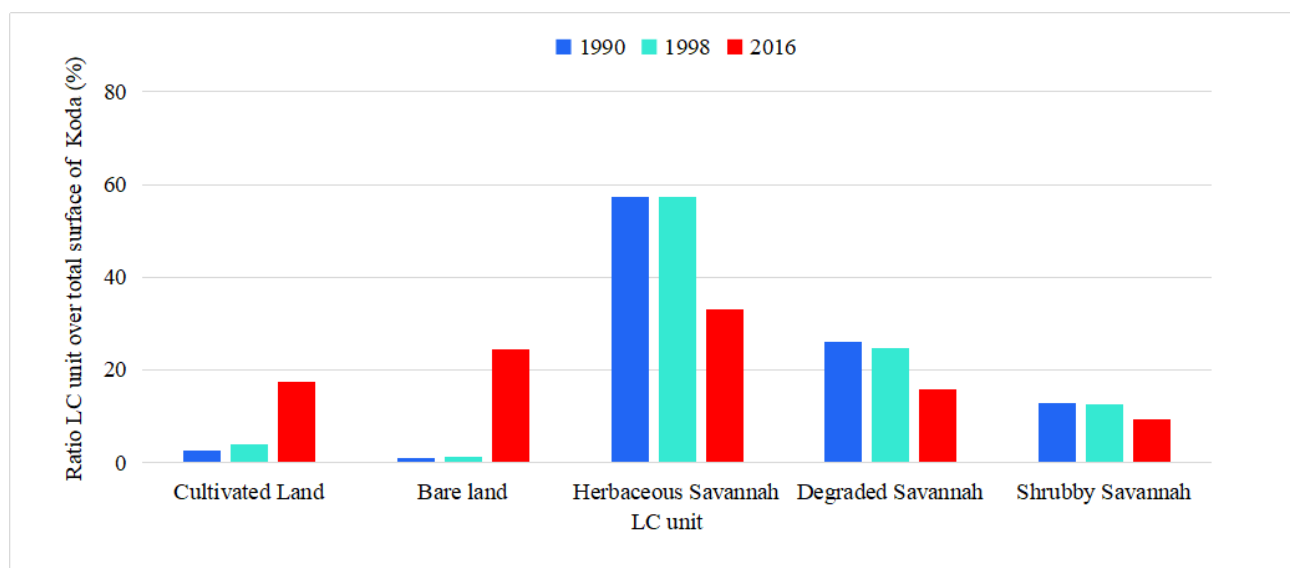
The comparison in terms of total area of LULC category has been done and the results are outlined in Table 1.

Table 1. Land Use and Land Cover area and area change for the years 1990, 1998 and 2016

Unit	Area km ²			Ratio of LC unit over Koda's total area (%)		
	1990	1998	2016	1990	1998	2016
Cultivated Land	125	200.39	856	2.55	4.07	17.40
Bareland	50	69.11	1204.76	1.02	1.4	24.49
Herbaceous Savannah	2827.68	2815.3	1627.54	57.46	57.21	33.08
Degraded Savannah	1282.9	1222.54	774.886	26.07	24.84	15.75
Shrubby Savannah	635	613.04	458.49	12.9	12.49	9.32
Total	4920.58	4920.38	4920.52	100	100	100

The land used for agriculture purposes changes considerably from 125 Km² in 1990, 200.39 km² in 1998 and to 856 km² in 2016 representing respectively an increase of 2.54%, 4.07 % and 17.40 %. In general, bare land varied from 50 km² to 1204 km² between 1990 and 2016 while there was an increase of 23.5 % (representing 1154.57 km² of the basin). Herbaceous savannah decreased from 57.46 % of the total area of the catchment (2827.68 km²) to 57.21% in 1998 and 33.08 % in 2016 respectively. This is followed by degraded savannah with a total coverage area of 26.07 % (1282.90 Km²) in 1990, 24.84 % in 1998 and 15.75 % in 2016 while there was a decrease of 10.32 %. In 1990, the shrubby savannah represents 12.90 % (635 km) but, this was decreased to 12.49 % (613 km) in 1998 and 9.32 % (458.54 km) in 2016.

The graphic representation of the results is given by Figure 4. This figure clearly shows the increase in the areas of cultivated land and bare land and the decrease of degraded savannah and shrubby savannah areas.

**Fig. 4.** Ratio of LULC unit over the total surface of Koda catchment in the years 1990, 1998 and 2016

Based on these results, there was an increase of 1 % and 9.78 % of Bare land and Cultivated land respectively. The increase of these two LULC units in Africa has been explained by many authors such as (Koglo et al., 2018). The same trend has been examined in Mali by (CILSS, 2016) where the increase of the cultivated land increased by a factor of 2.3 for the period 1975-2013 (38 years) equivalent to an average annual increase of 3.5 percent.

For many authors, this increase could be related to the increase in population and food demand (Koglo et al., 2018; CILSS, 2016; Daou et al., 2019). The decrease of different types of Savannah area is represented by a decrease of herbaceous savanna area of 24.4 % degraded Savannah 10.32 % and 3.6 % for shrubby savannah.

According to Kouobodana et al. (2019) and Aziz (2017), the decrease of the savannah is further amplified by using wood as energy sources and the lack of forest management. In the Koda catchment, deforestation is still occurring.

No water body is observed in the study area as a land cover unit, that lack of water bodies can be explained by the following reasons: the Landsat image used is dated of February (dry period) corresponding to the period where there is no surface water because only few

surface water characterize the Koda catchment are present during the rainy season. The existence time of all these surface water bodies is driven by the amount of rainfall received within the study area.

5.2 ACCURACY ASSESSMENT

In this study, all the values of Kappa coefficient (K) are greater than 75 %, therefore, the results are considered excellent. The results of K values are outlined in the Table 2.

Table 2. Coefficient of Kappa (K) values of each land use and land cover type

Year	1990	1998	2016
K values (%)	82	83	91

6 OUTPUTS OF THE STUDY

Significant progress in the understanding of land-use/cover changes has been achieved over the last decade.

7 OUTCOMES OF THE STUDY

The expected outcomes of the project will be very useful for the local population by increasing their knowledge regarding the dynamics of the LULC and the adoption of strategies to deal with LULC impacts.

The results of this study can be used for predicting future LULC changes.

The results will help also to take some adaptation measures to Land Use and Land Cover change, we recommend to policymakers to promote and develop the use of sources of energy (SoLar energy, wind energy) in order to reduce the use of renewable fuel wood.

The results can be a tool for natural risks management.

8 CONCLUSION

The study showed a decrease in savannah and an increase in bare land and cultivated land from 1990-2016 over the Koda catchment. The decrease might become so more significant in the future if the current rate of deforestation continues in the Koda catchment. Therefore, a proper LULC management strategy is needed within the study catchment. The results of this study can be used for predicting future LULC changes. To reduce the vulnerability of the Koda catchment from the effects of Land Use Land Cover Change, we recommend to policymakers to promote and develop the use of sources of energy (Solar energy, wind energy) in order to reduce the use of renewable fuel wood.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

O. D. was responsible for this current research paper. O.D. and A.T. designed the study and developed the methodology. O.D., A.T. and I.D. collected data. O.D. performed the analysis while A.T., S.K. supervised the data analysis. O.D. initially wrote the manuscript. I.D., S.K. and contributed to the paper write up while A.T. improved the quality of the manuscript.

FUNDING

This research received no external funding.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank the Regional Meteorological Agency of Koulikoro (Katibougou) and farmers within the basin for providing climate data.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflicts of interest.

REFERENCES

- [1] Amler, E., Schmidt, M., & Menz, G. (2015). Definitions and Mapping of East African Wetlands: A Review. *Remote Sensing*, 7 (5), 5256–5282.
- [2] Ashaolu, E. D., Olorunfemi, J. F., & Ifabiyi, I. P. (2019). Geoecology. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 28 (3), 381–394. <https://doi.org/10.15421/111936>.
- [3] Aziz, F. (2017). Assessing the Impact of Climate and Land Use/Land Cover Change on Streamflow and Sediment Yield in The Black Volta River Basin Using the Swat Model. Universite d'Abomey - Calavi (UAC) I.
- [4] Biondini, M., & Kandus, P. (2006). Transition matrix analysis of land-cover change in the accretion area of the Lower Delta of the Paraná River (Argentina) reveals two succession pathways. *Wetlands*, 26 (4), 981–991.
- [5] Botlhe, M., Kenabatho, P. K., Parida, B. P., & Maphanyane, J. G. (2019). Evaluating Land Use and Land Cover Change in the Gaborone Dam Catchment, Botswana, from 1984 – 2015 Using GIS and Remote Sensing. *Sustainability*, 11 (5174). <https://doi.org/doi:10.3390/su11195174>.
- [6] CILSS. (2016). *Landscapes of West Africa – A Window on a Changing World*. U.S. Geological Survey EROS, 47914 252nd St, Garretson, SD 57030, UNITED STATES. Any.
- [7] Daou, I., Coulibaly, A., Sidibe, A., Sangare, H., Keita, I., Bolozogola, Y.,... Mariko, A. (2019). Suivi de la dynamique environnementale de 1985 a 2018 en zone soudano-sahélienne par Télédétection: Cas de la commune rurale de Nyamina. *14 Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 34 (January 2020), 13–24.
- [8] Diallo, S., Armand, Z. B. T. R. A., Noufé, D., Dao, A., Kamagaté, B., Effebi, R. K.,... SEGUI, L. (2019). Dynamique de l'occupation du sol du bassin ivoirien de la lagune Aghien. *International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN*, 26 (1), 203–217. <https://doi.org/ISSN 2028-9324>.
- [9] Diancoumba, O., Bokar, H., Toure, A., Kelome, N., & Preko, K. (2020). Characterization of Groundwater Recharge Using the Water Table Fluctuation Method in the Koda Catchment, Mali. *Cloud Publications, International Journal of Advanced Earth Science and Engineering*, 8 (1), 665–681. <https://doi.org/10.23953/cloud.ijaese.446>
- [10] Diancoumba, O., Toure, A., Bokar, H., & Kelome, N. (2019). Modelling of Groundwater Dynamics Using Visual Modflow in the Koda Catchment, Mali, Poster presented at AGU Fall Meeting 2019 in San Francisco, CA, USA.
- [11] Diancoumba, O., Gaaloul, N., Bokar, H., Toure, A., Hermassi, T., Bargaoui, Z., & Kelome, N. C. (2018). Hydrogeological Modelling using Gardenia Model in the Koda catchment, Mali. *Journal International Sciences Et Technique de l'Eau et de l'Environnement*, III (ISSN (electronic): 1737-9350, ISSN (printed): 1737-6688), 95–100.
- [12] Fitzgerald, R.W. and Lees, B. G. (1994). Assessing the classification accuracy of multisource remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 47 (3), 362–368.
- [13] Jamtsho, K., & Gyamtsho, T. (2003). Effective Watershed and Water Management at Local Level: Challenges and Opportunities; National Resources Training Institute: Lobyesa, Bhutan, 2003. National Resources Training Institute: Lobyesa, Bhutan.
- [14] Koglo, Y. S., Agyare, W., Diwediga, B., Sogbedji, J., Adden, A., & Gaiser, T. (2018). Remote sensing-based and participatory analysis of forests, agricultural land dynamics, and potential land conservation measures in Kloto District (Togo, West Africa). *Soil Systems*, 2 (3), 49.
- [15] Koubodana, D. H., Diekkrüger, B., Näschen, K., Adoukpe, J., & Atchounglo, K. (2019). Impact of the Accuracy of Land Cover Data sets on the Accuracy of Land Cover Change Scenarios in the Mono River Basin, Togo, West Africa Impact of the Accuracy of Land Cover Data sets on the Accuracy of Land Cover Change Scenarios in the Mono River Basi. *Cloud Publications International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 8 (1), 3073–3095. <https://doi.org/10.23953/cloud.ijarsg.422>
- [16] Lambin, E., & Ehrlich, D. (1997). Land Cover changes in Sub-Saharan Africa (1982–1991): Application of a Change Index Based on Remotely Sensed Surface Temperature and Vegetation Indices at a Continental Scale. *Remote Sens. Environ*, 61, 181–200.
- [17] Lin, X., Xu, M., Cao, C., Singh, R. P., & Chen, W. (2018). Land-Use / Land-Cover Changes and Their Influence on the Ecosystem in Chengdu City, China during the Period of 1992 – 2018. *Sustainability*, 10 (3580), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su10103580>.
- [18] Pervez, S., & Henebry, G. M. (2015). Regional Studies Assessing the impacts of climate and land use and land cover change on the freshwater availability in the Brahmaputra River basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 285–311. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2014.09.003>
- [19] Pontius, R., & Millones, M. (2011). Death to Kappa: Birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, 32 (15), 4407–4429.
- [20] Ren, H., Cai, G., Zhao, G., & Li, Z. (2018). Accuracy assessment of the Globeland30 dataset in Jiangxi Province. *Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42 (3), 1481–1487.
- [21] Scanlon, B. R. S., Reedy, R. C., Stonestrom, D., Prudic, D. E., & Dennehy, K. F. (2005). Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US. *Global Change Biology (2005)*, 11, 1577–1593. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.01026.x>.
- [22] Stonestrom, D. A., Scanlon, B. R., & Zhang, L. (2009). Introduction to special section on Impacts of Land Use Change on Water Resources 45, W00A00, doi: 10.1029/2009WR007937. *Water Resources Research*, 45 (W00A00).

<https://doi.org/10.1029/2009WR007937>.

- [23] Tamba, S. K., & Li, J. (2011). Analysis of Land Use and Land Cover Changes, and Their Ecological Implications in Wuhan, China. *Journal of Geography and Geology*, 3 (1). <https://doi.org/10.5539/jgg.v3n1p104>.
- [24] Turner, M. G. (2005). Landscape ecology in North America: Past, present, and future. *Ecology*, 86, 1967– 1974.
- [25] Wondie, M., Schneider, W., Melesse, A. M., & Teketay, D. (2011). Spatial and temporal land cover changes in the Simen Mountains National Park, a world heritage site in Northwestern Ethiopia. *Remote Sens.* 2011, 3, 752 – 766. [CrossRef]. *Remote Sensing*, 3, 752– 766.
- [26] Yin, J., He, F., Xiong, Y. J., & Qiu, G. Y. (2017). Effects of land use / land cover and climate changes on surface runoff in a semi-humid and semi-arid transition zone in northwest China. *Hydrology Earth System Sciences*, 183–196. <https://doi.org/10.5194/hess-21-183-2017>.

Contribution à l'analyse de la variance (ANOVA) et à l'analyse en composante principale (ACP) pour l'évaluation de quelques caractéristiques de la qualité analytique de Lotoko, boisson traditionnelle distillée produite à Kinshasa

[Contribution to the analysis of variance (ANOVA) and the principal component analysis (PCA) for the evaluation of some characteristics of the analytical quality of Lotoko, a traditional distilled drink produced in Kinshasa]

Tabu Wa Bomesi Ernest¹, Sifa Kwa Mungu Danie^{1,2}, and Vawazola Nsimaketo Victor Héritier¹

¹Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques, Département de Chimie et Industries Agricoles, BP 117
Kinshasa XI, RD Congo

²Direction de Protection de l'Environnement Minier, Ministère des Mines Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2023 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: Lotoko is a traditional drink obtained from the distillation of mash resulting from uncontrolled spontaneous fermentation of cassava and malted corn; it is heavily consumed by a large section of the Kinshasa population, generally proletarians. This study conducted in Kingabwa, a district of Kinshasa Limete was intended to contribute to the statistical analysis by ANOVA and PCA of the physico-chemical characteristics and metallic trace elements of Lotoko. From this study, it appears that the specific density of Lotoko between 0.9691 and 0.9788 is statistically similar in all production units, while the pH (below 4.0), alcohol (15 to 16% by volume), turbidity (3.70 to 46.70 NTU), iron (0.06 and 0.18 mg/l), lead (0.10 and 0.20 µg/l) and copper (less than 0.01 mg/l) were not. During the principal component analysis (PCA) of different samples of the drink under study, the first two dimensions were retained because they represented 85% of the information contained in the database. The first dimension revealed a first link between alcohol, pH and iron, explaining 61.4% of the total variance; another between density, turbidity, accounts for 26.1% of the variance. The second dimension revealed that two producers are close to each other by pH and all three others are different. No variable weighs on all the other variables, nor does it influence them.

KEYWORDS: Distillation, Puree, Statistical analysis, Physico-chemical characteristics, Metallic trace elements.

RESUME: Le Lotoko est une boisson traditionnelle obtenue de la distillation de la purée issue d'une fermentation spontanée non-contrôlée de manioc et de maïs malté; il est fortement consommé par une importante frange de la population kinoise, généralement prolétaire. Cette étude menée à Kingabwa, un quartier de Kinshasa Limete avait pour but de contribuer à l'analyse statistique par l'ANOVA et l'ACP des caractéristiques physico-chimiques et des éléments traces métalliques de Lotoko. De cette étude, il ressort que la densité spécifique du Lotoko entre 0,9691 et 0,9788 est statistiquement semblable dans toutes les unités de productions alors que le pH (en dessous de 4,0), l'alcool (15 à 16 % en volume), la turbidité (3,70 à 46,70 NTU), le fer (0,06 et 0,18 mg/l), le plomb (0,10 et 0,20 µg/l) et le cuivre (inférieur à 0,01 mg/l) ne l'étaient pas. Au cours de l'analyse en composante principale (ACP) de différents échantillons de la boisson sous étude, les deux premières dimensions ont été retenues parce qu'elles ont représenté 85 % des informations contenues dans la base des données. La première dimension a révélé un premier lien entre l'alcool, le pH et le fer, expliquant 61,4 % de la variance totale; un autre entre la densité, la turbidité, représente 26,1 % de la variance. La seconde dimension a révélé que deux producteurs sont proches l'un à l'autre par le pH et tous les trois autres se distinguent. Aucune variable ne pèse sur l'ensemble des autres variables, ni ne les influence.

MOTS-CLEFS: Distillation, Purée, Analyse statistique, Caractéristiques physico-chimiques, Eléments traces métalliques.

1 INTRODUCTION

Dans l'ensemble du territoire de la République Démocratique du Congo (RDC), la distillation de la purée fermentée d'une manière spontanée et contrôlée à base de maïs et du manioc permet de produire une boisson alcoolisée qui porte des noms différents selon les régions [1]. De ces breuvages figurent la boisson traditionnelle alcoolisée et distillée congolaise appelée Lotoko en Lingala [2].

Un atout que semble présenter cette boisson pour la population prolétaire congolaise est que, contrairement aux boissons distillées modernes, les unités de production de Lotoko sont artisanales et ne nécessitent pas des équipements, ni des moyens sophistiqués. Par conséquent, elles ne requièrent pas un investissement lourd et offrent à leurs propriétaires, principalement les femmes, une certaine autonomie financière issue de la vente de Lotoko, une boisson alcoolisée à la portée de toutes les bourses (Tabu et Bangala, 2020). Le Lotoko est très consommé à Kinshasa et dans le reste du pays, surtout dans sa partie nord, et mérite l'attention du monde scientifique et du pouvoir public.

Lors de l'élaboration de Lotoko dans les unités de production, les paramètres techniques et technologiques (qualité de la mouture, ratio matière première/eau, pH, température, durée) ne sont généralement pas pris en compte ou insuffisamment par les opérateurs-producteurs afin de permettre toutes les activités nécessaires au bon déroulement des principales étapes successives de process afin d'obtenir une boisson de bonne qualité. Bien que bon marché, le doute plane sur les caractéristiques physicochimiques et la teneur en éléments traces métalliques (ETM) de cette boisson susceptible d'engendrer des sérieux problèmes de santé publique du fait de leur consommation.

De plus en plus, les chercheurs s'intéressent aux boissons alcoolisées traditionnelles eu égard à la place qu'elles occupent dans les communautés africaines dans le souci de mieux les caractériser ou de proposer des améliorations quant aux conditions opératoires conduisant à leur obtention. Diakabana et al. ont évalué la technologie appliquée dans la production de "Lungwila" à base de la canne à sucre dans l'objectif de la caractériser et d'en optimiser les conditions opératoires [3]; Habamubgu et al. ont effectué des analyses chimiques et microbiologiques sur trois types de boissons alcoolisées traditionnelles consommées au Sud-Kivu pour en déterminer la qualité sanitaire [4]. Dans le même ordre d'idée, Tabu et Bangala ont estimé que deux groupes de facteurs peuvent être à l'origine des problèmes sanitaires et technologiques de ces types de boissons [5]. Il s'agirait, d'une part, de l'usage d'un équipement rudimentaire entraînant des grandes irrégularités dans les caractéristiques physico-chimiques (pH, taux d'alcool, teneur en glucides, turbidité, etc.) et organoleptiques et, d'autre part, de la flore fermentaire des boissons traditionnelles locales qui ne correspondent pas aux normes sanitaires recommandées pour les spiritueux, les vins, moins encore les bières.

C'est dans ce contexte que le présent travail se propose de faire une application statistique par l'ANOVA et l'ACP sur les données physico-chimiques et des ETM d'étudier de manière systématique le processus de l'élaboration de Lotoko produit dans le quartier Kingabwa, localisée en périphérie de la commune de Limete à Kinshasa. L'intérêt de cette étude est d'acquies de connaître les caractéristiques analytiques de la qualité de Lotoko en vue d'ouvrir la voie vers l'amélioration de sa production et enfin son industrialisation.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

Cette recherche a été conduite à Kingabwa, un quartier périphérique de la commune de Limete dans la ville de Kinshasa. Ci-dessous est donnée la carte tirée de Google Map qui indique la localisation du lieu d'échantillonnage.

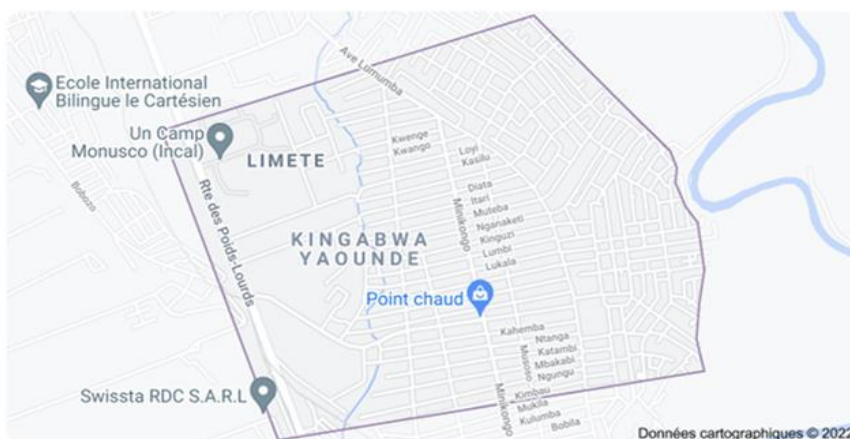


Fig. 1. Carte géographique de Kingabwa/Limete (Google Map, 2022)

La figure 1 indique la localisation du lieu d'échantillonnage tirée de la carte de Google Map.

2.2 MATÉRIEL

Le matériel d'étude était constitué de la boisson produite, commercialisée et vendue, Lotoko.

2.3 MÉTHODES

2.3.1 ÉCHANTILLONNAGE DES UNITÉS DE PRODUCTION PAR "BOULE DE NEIGE"

L'élaboration artisanale de Lotoko étant interdite en RDC, la population d'étude a été identifiée par la méthode d'échantillonnage dite "boule de neige" (Lafont, 2016), une méthode non probabiliste, non aléatoire, empirique; c'est à partir d'une unité de production de Lotoko connue du quartier Kingabwa, les autres unités de production de la filière ont été identifiées.

2.3.2 PRÉLÈVEMENT DES DIFFÉRENTS ÉCHANTILLONS POUR ANALYSE

Quinze échantillons ont été acquis par achat auprès de cinq unités de production du quartier Kingabwa codées PA, PB, PC, PD et PE, à raison de 3 échantillons par unité de production. Ces échantillons ont été codés respectivement PAK1, PAK2 et PAK3 pour 3 différentes productions issues PA; PBK1, PBK2 et PBK3 pour PB; PCK1, PCK2 et PCK3 pour PC; PDK1, PDK2 et PDK3 pour PD; PEK1, PEK2 et PEK3 pour PE.

2.3.3 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES

Pour déterminer la teneur en alcool en volume de Lotoko, un alcoomètre a été utilisé [6]. La mesure de la densité spécifique de Lotoko a été réalisée selon la méthode pycnométrique. Le pH-mètre de marque Edge pk avec électrodes a été utilisé après calibrage de mesures par deux solutions étalons à pH 4,00 et 7,00. La mesure de la turbidité a été réalisée par néphélométrie basée sur l'effet optique. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières en suspensions non dissoutes. La turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite. Les dosages des éléments traces métalliques Fe, Cu et Pb ont été déterminés par spectrophotométrie d'absorption atomique à l'aide d'une flamme air acétylène oxydante en utilisant une lampe à cathode creuse au fer pour le Fe, à la longueur d'onde de 248,3 nm, au cuivre pour le Cu, à la longueur d'onde de 324,7 nm, et au plomb sans flamme, en utilisant un modificateur de matrice sur la boisson spiritueuse Lotoko [7].

Tableau 1. Méthodes d'analyses de quelques caractéristiques de Lotoko

Caractéristiques	Méthode de détermination	Référence
Alcool	Hydrométrie	OMIL R 44
Densité	Pycnométrie	OIV-MA-BS-05
pH	Electrochimie	OIV-MA-BS-13
Turbidité	Néphélométrie	OIV-MA-BS-28
Cuivre	Absorption atomique	OIV-MA-BS-30
Fer	Absorption atomique	OIV-MA-BS-31
Plomb	Absorption atomique	OIV-MA-BS-32

Le tableau 1 résume les méthodes de détermination des paramètres étudiés de Lotoko et leurs références bibliographiques.

2.4 ANALYSE STATISTIQUE

Toutes les données obtenues ont été soumises à l'analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel SAS 9.4 USA (Statistical Analysis System version 9.4) et par l'Analyse en Composantes Principales (ACP) à l'aide logiciel SPSS 21 (Statistical Package Program for Social Sciences Version 21). Le niveau de signification retenu a été de 0,05. Les différences statistiques avec une valeur de probabilité inférieure à 0,05 ($p < 0,05$) ont été considérées comme significatives [8]. L'ACP a permis de ressortir les relations qui existent entre les variables mesurées: pH, densité spécifique, alcool, turbidité, fer, cuivre et plomb et les ressemblances entre producteurs dans la composition finale des produits obtenus [9], [10].

3 RESULTATS

3.1 VALEURS DES RÉSULTATS DES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET DES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES DE LOTOKO

Toutes les valeurs des données d'analyses analytiques de produit fini Lotoko des cinq unités de production sont repris dans le tableau 2.

Tableau 2. *Caractéristiques de la composition analytique de Lotoko*

Productrice	Production	Alcool	Densité	pH	Turbidité	Fer	Cuivre	Plomb
PA	PAK1	18,00	0,9710	3,37	4,10	0,125	0,010	0,00
	PAK2	15,00	0,9764	3,38	18,10	0,175	0,010	0,00
	PAK3	15,00	0,9776	3,25	6,10	0,150	0,010	0,00
	Moyenne	16,00 ± 1,73	0,9750 ± 0,00	3,33 ± 0,1	9,43 ± 7,57	0,15 ± 0,03	0,010 ± 0,00	0,00 ± 0,00
PB	PBK1	16,00	0,9670	3,44	7,09	0,130	0,010	0,00
	PBK2	15,00	0,9772	3,31	13,20	0,150	0,010	0,10
	PBK3	15,00	0,9691	3,35	29,44	0,085	0,010	0,10
	Moyenne	15,33 ± 0,58	0,9711 ± 0,00	3,37 ± 0,1	16,58 ± 11,56	0,12 ± 0,03	0,010 ± 0,00	0,07 ± 0,06
PC	PCK1	15,00	0,9760	3,33	12,30	0,065	0,010	0,00
	PCK2	15,00	0,9652	3,39	3,70	0,055	0,010	0,00
	PCK3	15,00	0,9718	3,53	7,69	0,070	0,010	0,00
	Moyenne	15,00 ± 0,00	0,9710 ± 0,00	3,42 ± 0,1	7,90 ± 4,30	0,06 ± 0,01	0,010 ± 0,00	0,00 ± 0,00
PD	PDK1	16,00	0,9677	3,44	36,02	0,040	0,010	0,00
	PDK2	15,00	0,9749	3,37	19,40	0,085	0,010	0,00
	PDK3	15,00	0,9639	3,52	31,24	0,125	0,010	0,00
	Moyenne	15,33 ± 0,58	0,9688 ± 0,01	3,44 ± 0,10	28,89 ± 8,56	0,08 ± 0,04	0,010 ± 0,00	0,00 ± 0,00
PE	PEK1	15,00	0,9788	3,42	43,80	0,085	0,010	0,00
	PEK2	15,00	0,9766	3,41	46,70	0,085	0,010	0,00
	PEK3	15,00	0,9758	3,44	30,80	0,084	0,010	0,20
	Moyenne	15,00 ± 0,00	0,9771 ± 0,00	3,42 ± 0,00	40,43 ± 8,47	0,08 ± 0,00	0,010 ± 0,00	0,07 ± 0,12

Les normes des éléments traces métalliques de l'EU Drinking Water Quality Standards [11] (European Council, 1998) et de WHO Guidelines for Drinking Water Quality [12] (WHO, 2017) sont de 0,20 mg/l pour le fer, de 2,00 mg/l pour le cuivre et de 0,20 µg/l pour le plomb.

3.2 EFFETS DES UNITÉS DE PRODUCTION SUR LA COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUES ET DES ETM

3.2.1 EFFETS DE PRODUCTEURS SUR LA COMPOSITION DE LOTOKO

Tableau 3. *Effets de producteurs sur la composition de Lotoko*

Productrice	Alcool	Lettre du Groupe	Densité	PH	Lettre du Groupe	Turbidité	Lettre du Groupe	Fer	Lettre du Groupe	Cuivre	Plomb	Letter Group
PE	15,0	B	0,9771	3,4	AB	40,4	A	0,08467	C	0,01	0,06667	A
PA	16,0	A	0,9751	3,3	C	9,3	D	0,1501	A	0,01	0	B
PB	15,3	AB	0,9711	3,4	BC	16,6	C	0,1217	B	0,01	0,06667	A
PC	15,0	B	0,8709	3,4	AB	7,9	D	0,06333	C	0,01	0	B
PD	15,3	AB	0,9688	3,4	A	28,9	B	0,08333	C	0,01	0	B
Pvalue	0,0425		0,3897	0		<.0001		<.0001		0	0	
Ecart type	0,79		0,13	0		14,3		0,03		0	0	

Lorsque toutes les caractéristiques ou variables sont analysées sur le plan statistique, les résultats font ressortir six méthodes de préparation. Ainsi, pour la teneur en alcool, ils se répartissent en trois groupes; alors qu'il y en a quatre pour la densité et le pH. La turbidité donne aussi quatre groupes, le fer donne trois et il y a deux groupes pour le cuivre et le plomb.

Le p-value de la densité spécifique étant de 0,39 (0,39 > 0,05), elle n'a aucune influence statistiquement significative sur les producteurs. La densité spécifique est donc statistiquement la même chez tous les fabricants et ne varie pas d'un producteur à l'autre. Tous les autres composés ayant un p-value inférieur à 0,05 varient avec les producteurs.

3.2.2 EFFET DE PRODUCTIONS SUR LA COMPOSITION DE LOTOKO

Tableau 4. *Effets de productions sur la composition de Lotoko*

Production	Alcool	Lettre du groupe	Densité	pH	Lettre du groupe	Turbidité	Lettre du groupe	Fer	Lettre du groupe	Cuivre	Plomb	Lettre du groupe
PAL1	18	A	0,9713	3,4	CD	4,1	N	0,125	D	0,01	0	C
PAL2	15	C	0,9764	3,4	C	18,1	H	0,1753	A	0,01	0	C
PAL3	15	C	0,9776	3,3	G	6,1	M	0,15	B	0,01	0	C
PBL1	16	B	0,967	3,4	B	7,1	L	0,13	C	0,01	0	C
PBL2	15	C	0,9772	3,3	F	13,2	I	0,15	B	0,01	0,1	B
PBL3	15	C	0,9691	3,4	DE	29,4	F	0,085	E	0,01	0,1	B
PCL1	15	C	0,6757	3,3	EF	12,3	J	0,065	H	0,01	0	C
PCL2	15	C	0,9652	3,4	C	3,7	O	0,055	I	0,01	0	C
PCL3	15	C	0,9718	3,5	A	7,7	K	0,07	G	0,01	0	C
PDL1	16	B	0,9677	3,4	B	3,6	C	0,04	J	0,01	0	C
PDL2	15	C	0,9749	3,4	CD	19,4	G	0,085	E	0,01	0	C
PDL3	15	C	0,9639	3,5	A	31,2	D	0,125	D	0,01	0	C
PEL1	15	C	0,9789	3,4	B	43,8	B	0,085	E	0,01	0	C
PEL2	15	C	0,9766	3,4	C	46,7	A	0,085	E	0,01	0	C
PEL3	15	C	0,9758	3,4	B	30,8	E	0,084	F	0,01	0,2	A
Pvalue	0		0,4951	<.0001		<.0001		<.0001		0	<.0001	
Ecart type	0,79		0,13	0,07		14,3		0,038		0	0.057	

L'analyse statistique des effets de différentes productions sur la composition de Lotoko a permis de regrouper les producteurs en dix-huit différents groupes. Ces variables se distinguent en trois groupes pour l'alcool, en sept pour la densité et le pH, en quinze pour la turbidité, en dix pour le fer et en trois pour le plomb. Les analyses statistiques révèlent que toutes les valeurs de la composition analysée, exceptée celle de la densité spécifique, ayant un p-value de 0,50 sont significativement différentes d'une production à une autre (p < 0,05).

3.2.3 EFFET DE L'INTERACTION PRODUCTEURS ET PRODUCTIONS SUR LA COMPOSITION DE LOTOKO

Tableau 5. *Effets de l'interaction producteurs-productions sur la composition de Lotoko*

Producteur	Production	Alcool	Lettre du groupe	Densité	pH	Lettre du groupe	Turbidité	Lettre du groupe	Fer	Lettre du groupe	Cuivre
PA	PAL1	18	A	0,9713	3,4	CD	4,1	N	0,125	D	0,01
PA	PAL2	15	C	0,9764	3,4	C	18,1	H	0,1753	A	0,01
PA	PAL3	15	C	0,9776	3,3	G	6,1	M	0,15	B	0,01
PB	PBL1	16	B	0,967	3,4	B	7,1	L	0,13	C	0,01
PB	PBL2	15	C	0,9772	3,3	F	13,1	I	0,15	B	0,01
PB	PBL3	15	C	0,9691	3,4	DE	29,4	F	0,085	E	0,01
PC	PCL1	15	C	0,6757	3,3	EF	12,3	J	0,065	H	0,01
PC	PCL2	15	C	0,9652	3,4	C	3,7	O	0,055	I	0,01
PC	PCL3	15	C	0,9718	3,5	A	7,7	K	0,07	G	0,01
PD	PDL1	16	B	0,9677	3,4	B	36,0	C	0,04	J	0,01
PD	PDL2	15	C	0,9749	3,4	CD	19,4	G	0,085	E	0,01
PD	PDL3	15	C	0,9639	3,5	A	31,2	D	0,125	D	0,01
PE	PEL1	15	C	0,9789	3,4	B	43,8	B	0,085	E	0,01
PE	PEL2	15	C	0,9766	3,4	C	46,7	A	0,085	E	0,01
PE	PEL3	15	C	0,9758	3,4	B	30,7	E	0,084	F	0,01
Pvalue		0,0		0,4951	<.0001		<.0001		<.0001		0

Ecart type		0,8		0,13	0,1		14,3		0,03		0
------------	--	-----	--	------	-----	--	------	--	------	--	---

Les effets de l'interaction producteurs-productions sur la composition de Lotoko a permis de regrouper les producteurs en dix-huit différents groupements. La densité spécifique avec p-value entre 0,39 à 0,50, donc supérieur à 0,05; il n'existe donc aucune interaction statistiquement significative entre les variables au seuil de 95% aussi bien pour les producteurs et les productions et producteurs-productions.

3.3 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP) DES CARACTÉRISTIQUES LOTOKO

3.3.1 VALEURS PROPRES

L'analyse du graphique 1 indique que les deux premières dimensions permettent de visualiser le maximum d'informations comprises dans le jeu de données à 87,5% d'informations. Ces dernières sont analysées avec respectivement 61,4 % pour la dimension 1 et 26,1 % pour la dimension 2.

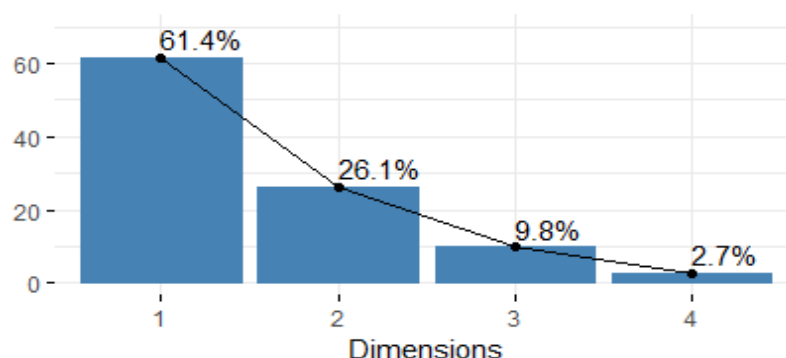


Fig. 2. Valeurs propres

3.3.2 QUALITÉ DE LA PRÉSENTATION DES VARIABLES DANS LES DIMENSIONS

L'analyse du graphique 1 indique que les deux premières dimensions permettent de visualiser le maximum d'informations comprises dans le jeu de données à 87,5% d'informations. Ces dernières sont analysées avec respectivement 61,4 % pour la dimension 1 et 26,1 % pour la dimension 2.

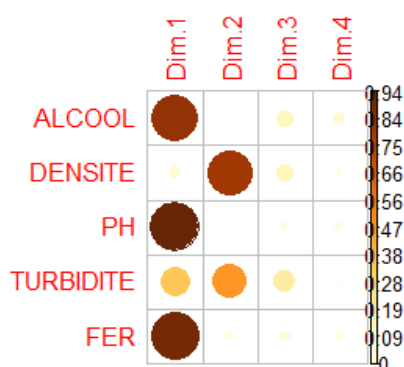


Fig. 3. Répartition des variables entre les dimensions

3.3.3 CORRÉLATION ENTRE LES VARIABLES

Dans le graphique 4, la dimension 1 est exprimée vers son pôle positif par l'alcool et le fer qui présentent une corrélation positive entre eux car ils sont proches l'un à l'autre, tandis que vers son pôle négatif se trouve le pH. Cependant la dimension 2 est déterminé par la turbidité et la densité vers son pôle positif. Le taux d'alcool et le pH évoluent de manière opposée. Il ressort aussi que le fer et la densité évoluent dans un même cadran, alors que l'alcool, le pH et la turbidité évoluent chacun dans son quadrant.

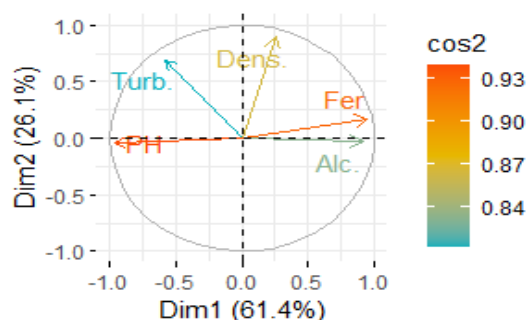


Fig. 4. Corrélation entre les variables

L'examen des matrices de corrélation entre variables prises deux à deux dans les tableaux 6 (corrélations brutes) et 7 (corrélations partielles) révèle que les variables sont très peu liées car la corrélation est vraiment inférieure de 0,50 en valeur absolue. Par conséquent aucune variable ne pèse sur l'ensemble des variables et n'entraîne avec lui l'ensemble des autres variables.

Tableau 6. Matrices de corrélations brutes entre les caractéristiques de Lotoko

	Turbidité	Fer	pH	Densité	Alcool
Turbidité	1	-0,29007	0,24366	0,09421	-0,28562
Fer	-0,29007	1	-0,31413	0,15065	0,09302
pH	0,24366	-0,31413	1	0,09691	0,01431
Densité	0,09421	0,15065	0,09691	1	0,0547
Alcool	-0,28562	0,09302	0,01431	0,0547	1

Tableau 7. Matrices de corrélations partielles entre les variables de Lotoko

	Turbidité	Fer	pH	Densité	Alcool
Turbidité	1	-0,23467	0,16696	0,13877	-0,29014
Fer	-0,23467	1	-0,28298	0,21297	0,01968
pH	0,16696	-0,28298	1	0,12531	0,08638
Densité	0,13877	0,21297	0,12531	1	0,07316
Alcool	-0,29014	0,01968	0,08638	0,07316	1

3.3.4 CORRÉLATION ENTRE LES INDIVIDUS

L'analyse de la similarité entre les caractéristiques de Lotoko de différents producteurs montre que les boissons des producteurs 3 et 4 se ressemblent par conséquent, elles ont des caractéristiques plus proches que d'autres. Tous les trois autres producteurs sont dans trois quadrants différents.

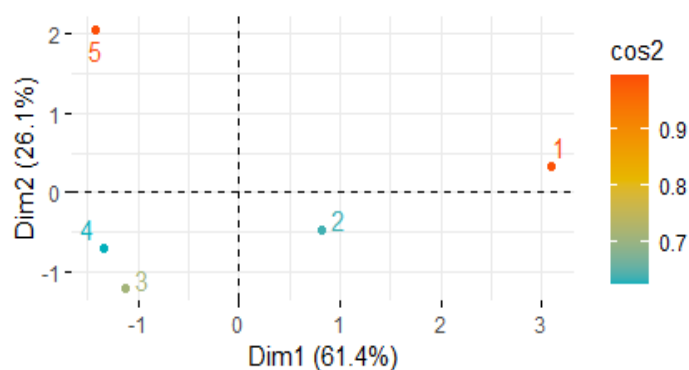


Fig. 5. Répartition des individus entre les dimensions

Légende: 1 = PA; 2 = PB; 3 = PC; 4 = PD; 5 = PE

L'analyse de la similarité entre les caractéristiques de Lotoko de différents producteurs montre que les boissons des producteurs 3 et 4 se ressemblent par conséquent, elles ont des caractéristiques plus proches que d'autres. Tous les trois autres producteurs sont dans trois quadrants différents. Entre l'échelle 0,7 à 0,9, tous les individus sont représentés. Entre l'échelle 0,7 à 0,9, tous les individus sont représentés.

3.3.5 CORRÉLATION ENTRE LES VARIABLES ET LES INDIVIDUS

Le graphique 6 permet de regrouper les producteurs aux variables ou caractéristiques analysées prédominantes.

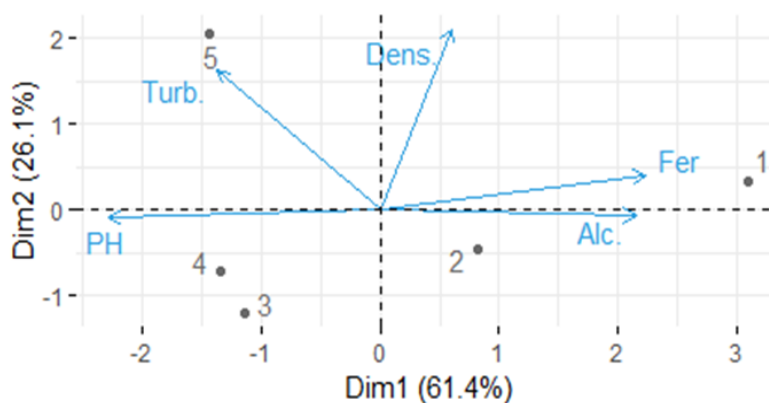


Fig. 6. Corrélation entre les variables et les individus

Légende: 1 = PA; 2 = PB; 3 = PC; 4 = PD; 5 = PE

Le producteur 1 (PA) se classe dans le premier quadrant où l'on retrouve le fer et la densité. Le producteur 2 (PB), se trouve dans le deuxième quadrant avec l'alcool. Les producteurs 3 (PC) et 4 (PD) se réunissent au troisième quadrant avec le pH le plus élevé par rapport aux autres; donc ils se ressemblent. Le producteur 5 (PE) se retrouve dans le quatrième quadrant avec la plus forte turbidité.

L'alcool et le fer sont corrélés positivement puisque leurs vecteurs représentatifs forment un angle aigu. Par contre, l'alcool et le pH sont corrélés négativement car leurs vecteurs représentatifs forment un angle obtus.

4 DISCUSSION

Avec une teneur en alcool de 15,0 à 18,0 % vol, le Lotoko titre plus de 15,0 % vol d'alcool, il se nomme alors boisson alcoolisée distillée ou encore boisson spiritueuse [13]. Cette faible teneur de l'alcool est due aux procédés de bioconversion-fermentation pour des raisons déjà été évoquées. En plus la teneur d'alcool de Lotoko dépend souvent de mélange de fractions de distillation: tête, cœur et queue que l'unité de production mixe pour un avoir un taux d'alcool de son produit fini. Pour les consommateurs des boissons fortes, les têtes de distillation leurs sont directement vendues en cas de besoin. Le Lotoko reste encore faible en alcool pour les consommateurs des boissons fortement alcoolisées et il est prisé par les kinois de toutes les couches d'âge suite à son taux d'alcool relativement léger. Ces taux d'alcool de Lotoko sont inférieurs aux titres alcoométriques des boissons distillées fait maison au Nigéria qui ont été compris entre 32,2 et 42,6 % vol [14] (Brands et al., 2007) et ceux de la production d'alcool distillé artisanal et clandestin au Maya en Guatemala sont de 18,7 ± 5,0 % vol [15]. Le Kwete, dont il a été question plus haut, a une teneur en éthanol de 13,3 ± 5,17 % v/v [18].

La densité spécifique de Lotoko oscille entre 0,9670 et 0,9766. Cette valeur relativement faible est le résultat de grandes quantités de matières premières utilisées qui n'ont pas eu le temps de dédoubler leurs amidons en sucres fermentescibles et non fermentescibles par la fermentation non-hygiénique spontanée incontrôlée à l'étape de bioconversion-fermentation. Elle traduit le degré de non solubilité des matières organiques totales telles que les sucres résiduels non fermentés et des particules en suspension dans le liquide.

Le pH de la boisson est compris entre 3,4 et 3,5. Cette acidité provient de grandes activités des microorganismes: levures et bactéries lactiques pendant la fermentation spontanée incontrôlée. Il est aussi dû à la nature qualitative et quantitative des matières premières utilisées et aux paramètres technologiques tels que la température, la durée de la bioconversion et fermentation combinées, comme rapporté par N'Tcha et al [16]. Ourega et al. avaient montré que les fortes acidités observées au niveau des bières locales produites en Afrique s'expliqueraient par la production d'acides organiques par la levure au cours de la fermentation alcoolique et/ou par les bactéries lactiques au cours de la fermentation lactique [17]. Les résultats des analyses physicochimiques de Kwete, une boisson traditionnelle

ougandaise fermentée à température ambiante préparée à partir de grains de maïs mais parfois mélangée avec des grains de mil avait donné un pH de $3,35 \pm 0,09$ [18].

La turbidité comprise entre 3,71 à 46,70 NTU est représentative de la transparence de Lotoko et peut être affectée par la présence de particules en suspension et de matières colloïdales dans le Lotoko. La grande variabilité de la turbidité est liée au mode de chauffage artisanale de l'alambic et à la régulation manuelle des températures d'ébullition et de distillation. En effet, l'intensité du foyer de feu exige une surveillance permanente d'autant plus que la source de chaleur n'est pas régulée automatiquement. Cette surveillance de la distillation étant manuelle, en d'autres termes liée à l'attention de l'opérateur, une moindre distraction de ce dernier dans la régulation des températures entraîne un écoulement d'une infime partie de la purée fermentée dans la boisson finale; ce qui augmente la turbidité par toutes les matières en suspension laissées passer par inadvertance. Notons que l'unité de production PE (Unité de production 5) était le plus distrait lors de la distillation car il a les turbidités plus élevées que tous les autres. La turbidité des boissons alcoolisées traditionnelles distillées non enregistrées n'est pas suffisamment documentée.

Les dosages des éléments traces métalliques dans le Lotoko revêt toute son importance. En effet, ces ETM (fer, cuivre et plomb) comprennent d'une part les substances importantes pour la santé de l'homme et d'autre part des matières cancérogènes. Le fer est en faible concentration dans le Lotoko de toutes les unités de productions allant de 0,04 à 0,18 mg/l pour une norme de 2,00 mg/l. Il est l'un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. On le trouve dans les eaux douces naturelles à des teneurs allant de 0,5 à 50,0 mg/l. Le fer peut également être présent dans l'eau potable en raison de l'utilisation de coagulants à base de fer ou de la corrosion des conduites en acier et en fonte lors de la distribution de l'eau [19]. Le teneur en cuivre est inférieure à 0,01 mg/l dans toutes les unités de productions et de loin inférieure aux spécifications de 2 mg/l, à l'instar du taux obtenu dans le "Cuxa" clandestin au Maya (Guatemala) où cette dose est inférieure aux taux de $1,03 \pm 1,45$ [15]. Sur les quinze unités de productions enquêtées, trois échantillons contenaient le plomb mais un seul a une proportion à la limite des spécifications, soit 0,2 µg/l. Le plomb est rarement présent dans l'eau du robinet que les unités de productions de Lotoko utilisent en raison de sa dissolution à partir de sources naturelles; toutefois, sa présence peut résulter principalement des systèmes de plomberie domestiques contenant du plomb dans les tuyaux, les soudures, les raccords ou les branchements aux habitations [19]. L'utilisation de fûts usagés de pétrole de récupération en métal et d'autres matériaux, non destinés initialement à entrer en contact avec des produits alimentaires, peut aussi constituer une source de contamination des préparations des boissons traditionnelles. Ceci a été observé par Lachenmeier et al. lors de la distillation de Cuxa, un alcool artisanal distillé à base de canne à sucre au Guatemala, dans lequel le cuivre a été détecté dans la majorité des échantillons étudiés [15].

La comparaison des valeurs de décision ou p-value de différents paramètres physicochimiques et des ETM, au seuil de signification de 5 %, fait ressortir dans l'ensemble deux procédures ou catégories de résultats de préparation:

- Catégorie I: Dans ce groupe, les densités spécifiques de différentes préparations de Lotoko ont des valeurs moyennes statistiquement identiques (avec de p-value 0,39 et 0,50) chez tous les producteurs, dans toutes les productions et en tenant compte des toutes les interactions producteurs-productions
- Catégorie II: Dans ce groupe, les paramètres ont des valeurs moyennes statistiquement différentes (p-value de 0,00) chez tous les producteurs, dans toutes les productions et en tenant compte de l'interaction producteurs-productions. Il s'agit de la teneur en alcool, du pH, de la turbidité, de la teneur en fer, en cuivre et en plomb

Il ressort de ces deux catégories qu'il y a variabilité des caractéristiques physico-chimiques et de teneur des éléments traces métalliques dans l'élaboration qui conduit aux produits finis Lotoko échantillonnés.

Les différentes catégorisations qui se sont révélées à la lumière des analyses statistiques peuvent s'expliquer par le fait que l'élaboration de Lotoko se déroule d'une manière artisanale et empirique par la fermentation spontanée et non contrôlée. Ces résultats issus de l'analyse de la variance et la comparaison des valeurs de p-value démontrent qu'en dépit du protocole routinier mis en œuvre par les unités de production, il existe plusieurs contraintes technologiques que ces derniers rencontrent durant leurs préparations. Comme il avait constaté, à l'instar du brassage qui se déroule dans les conditions ambiantes sans contrôle technologique, la purée est fermentée d'une manière spontanée et incontrôlée avec comme conséquence la présence de beaucoup d'extraits fermentescibles récupérables et non récupérables. C'est ce qui explique que tous les tests d'iode sont négatifs durant le processus de production. Il y a aussi le fait que les densités du début et de fin fermentation sont très élevées et, par conséquent les atténuations apparentes et réelles faibles. Il y a lieu de noter que la densité spécifique d'un moût ou d'une purée à la fin fermentation dépend d'une manière générale de la qualité de la matière première, de la répartition granulométrique de la mouture, de conditions technologiques brassicoles à savoir temps, température et pH, de la vigueur de malaxage, ainsi que des paramètres de fermentations telles que la température et la population levurienne [20], [21]. Tous ces paramètres ne sont pas contrôlés dans l'élaboration artisanale de Lotoko.

Les connaissances sur l'ACP des boissons alcoolisées traditionnelles distillées n'étant pas suffisamment documentée, il est difficile de d'enrichir les discussions. Toutefois, quelques points ont été notés.

Dans la caractérisation physico-chimique et microbiologique de Kpètè-Kpètè, un ferment des bières traditionnelles produites au Bénin, trois axes ont été aussi considérés pour l'interprétation des résultats avec 86,80 % [16].

Dans l'axe 1, la turbidité et le pH sont liées par le mode de procédé de surveillance manuelle de la distillation qui peut laisser passer une infime partie de purée fermentée. Le fer, par son abondance dans la croute terrestre et par sa présence fort probable dans l'eau de ville (WHO, 2006) utilisée par les brasseuses, se concentre aussi sur le premier axe.

Par la conversion de l'amidon de manioc et de maïs en sucres fermentescibles et non fermentescibles ainsi que la fermentation spontanée non contrôlée combinées dans un même vaisseau, la densité se retrouve dans l'axe 2 car beaucoup d'extraits restent dans la purée de Lotoko en fin fermentation.

Tous les résultats d'analyses des paramètres physico-chimiques aux différentes étapes de la fabrication de Lotoko ont des valeurs qui sont proches avec des petits écarts justifiés, insinuant que les acteurs de ces distilleries traditionnelles utilisent tous presque le même mode opératoire pour l'élaboration de leurs Lotoko. Les principales limitations des procédés de fermentation spontanée comprennent leur inefficacité, les faibles rendements de produit et la qualité variable du produit. Alors que les fermentations spontanées améliorent généralement la sécurité des aliments en raison d'une réduction du pH et par la détoxification, dans certains cas, il existe des problèmes de sécurité liés aux pathogènes bactériens associés à la matière première ou aux pratiques non hygiéniques pendant le traitement [22]. Pour ce qui est de la législation nationale sur les boissons alcoolisées, les boissons traditionnelles distillées, dont le Lotoko qui est le plus célèbre à Kinshasa, se pratiquent en dehors des circuits officiels sous contrôle gouvernemental. Elles sont classées parmi les boissons non enregistrées [23]. Même si elles échappent totalement à la réglementation nationale, elles sont produites, commercialisées et consommées d'une manière officieuse clandestinement. Comme de nombreux systèmes informels, l'élaboration de Lotoko existe depuis plusieurs décennies et est non seulement intimement liée à la culture communautaire, mais aussi à l'économie, source d'emploi et de finance pour les familles des producteurs dont la plupart sont des femmes. Il fournit une alternative abordable à l'alcool commercial industrialisé. La production de l'alcool artisanal distillé Cuxa à base de canne à sucre produit au Guatemala n'était ni réglementée et ni formalisée [15]. Par contre la production de la boisson traditionnelle distillée Akpeteshie a été légalisée par le gouvernement de la première République du Ghana car elle n'était pas autorisée à être produite par l'administration coloniale de l'époque, d'autant plus que les spiritueux pouvaient contenir des composants alcooliques toxiques en raison du manque de connaissances scientifiques. Cette autorisation de production étant donnée, les brasseurs d'Akpeteshie se sont organisés en coopératives pour fournir cette boisson aux "State Distilleries" et "The West African Distilleries Ltd" qui l'utilisent comme matière première pour la fabrication du Ghanas Gin et du Kantamanto Gin [24]. Le monde scientifique congolais devrait aussi mener des études sur l'identification de différentes boissons alcoolisées produites et consommées sur l'ensemble du territoire national et mettre au point les standards de qualité physico-chimiques et microbiologiques ainsi que des ETM des boissons alcoolisées afin de pousser l'autorité étatique congolaise de s'inspirer des outils internationaux, notamment les plans OMS/FAO, pour actualiser les textes législatifs et normatifs existants afin de libéraliser la production, la commercialisation et la consommation des boissons produites localement [25].

5 CONCLUSION

La présente étude avait pour objectif de contribuer à l'application de l'Analyse de la Variance (ANOVA) et de l'analyse en composante Principales (ACP) pour l'évaluation des caractéristiques physico-chimiques et des éléments traces métalliques (ETM) de Lotoko produit, commercialisé et vendu à Kinshasa. Des résultats obtenus, il ressort que la qualité de Lotoko est loin d'être standard pour toutes les unités de production du point de vue paramètres physicochimiques et présence des éléments traces métalliques; cette qualité varie dans l'unité de production et entre les unités de production; les teneurs des éléments traces métalliques détectés: le fer, le cuivre et le plomb révèlent qu'ils ne constituent pas un danger pour les consommateurs de Lotoko. De ce qui précède, l'hypothèse émise, selon laquelle le processus de l'élaboration de Lotoko est tributaire des conditions technologiques qui conduisent à l'obtention d'un produit, Lotoko, qui n'a pas les mêmes caractéristiques physicochimiques, est confirmée. Que des investigations soient menées dans le temps et l'espace pour mettre en évidence la présence d'autres métabolites à l'instar des autres alcools (comme le méthanol, le propanol, l'isobutanol par exemple) et des acétaldéhydes, afin de permettre de prendre des mesures spécifiques pour l'innocuité de la boisson dans le but d'améliorer la sûreté, la qualité et la sécurité de la production traditionnelle de Lotoko et surtout pour une voie vers une application industrielle.

REFERENCES

- [1] A. Heutz de Lemp. *Boissons et civilisations en Afrique*. Presses Universitaires de Bordeaux. Université Michel de Montaigne-Bordeaux 3. Domaine Universitaire. 33607 PESSAC CEDEX – France, Page 475, 2001.
- [2] P. Diakabana, M.G. Dzondo, J.E. Moussounga, A.W.G. Sompila, M.A.B. Madiélé, L. Messo, S.C. Kobawila et D. Louembé. Behavior of Grains in the Course of the Smothering Phase of the Traditional Process of Malting of Corn (*Zea mays* sp.) in the Production of Lotoko, a Brandy of the Basin of Congo. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. ISSN: 2319-7706 Volume 6 Number 11 (2017) pp. 3541-3551, 2017.
- [3] P. Diakabana, J.Dhellot, B.S. Dinga, S.C. Kobawila et D. Louembé. *Evaluation of the traditional technology of production of lungwila, a wine of sugarcane of Congo*. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8 (4), 1557-1569, 2014.

- [4] S.S. Habamubgu, M. Kazadi et K.M. Kafumba. Evaluation chimique et microbiologique des boissons locales nouvellement introduites et produites par la population du Sud-Kivu: cas des groupements de Katana et Bugorhe. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. ISSN 2028-9324 Vol. 8 No. pp. 736-742, 2014.
- [5] W.B.E. Tabu et M.D-B. Bangala. Analyse de la conformité des boissons alcoolisées consommées à Kinshasa aux exigences techniques et légales (Synthèse bibliographique). *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*; 3 (2), 94-105, 2020.
- [6] OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale). Alcoomètres et aéromètres pour alcool et thermomètres utilisées en alcoométrie, 2021. [En ligne] Disponibilité: https://www.oiml.org/fr/files/pdf_r/r044-f85.pdf (le 31/03/2022).
- [7] OIV (Organisation intergouvernementale de la vigne et du Vin) *Recueil des Méthodes d'Analyse des Boissons Spiritueuses d'Origine Vitivinicole*, 2022. [En ligne] Disponible: <https://www.oiv.int/fr/standards/recueil-des-methodes-d%E2%80%99analyse-des-boissons-spiritueuses-d%E2%80%99origine-vitivinicole> (le 19/07/2022).
- [8] R. Payne. *Anova and design*. Genstat. 21ème Edition. VSN International. United Kingdom, 2020. [En ligne] Disponible: <https://genstat.kb.vsnl.co.uk/wp-content/uploads/sites/2/AnovaGuide.pdf> (05/11/2021).
- [9] A. Kassambara. *Méthodes des Composantes Principales dans R: Guide Pratique*, 2007. [En ligne] Disponible: <http://www.sthda.com/french/articles/38-methodes-des-composantes-principales-dans-r-guide-pratique/73-acp-analyse-en-composantes-principales-avec-r-l-essentiel/> (08/04/2022).
- [10] P-L. Gonzalez. *L'analyse en composantes principales (A.C.P.)*, 2018. [En ligne] Disponible: <https://maths.cnam.fr/IMG/pdf/A-C-P-.pdf> (30/12/2019).
- [11] European Council, 1998.
- [12] WHO, *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum*, 2017. [En ligne] Disponible: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf> (15/11/2021).
- [13] P. Neyrat. *Boissons alcoolisées distillées*. 2008. [En ligne] Disponible: <https://www.e-sante.fr/boissons-alcoolisees-distillees/guide/1571> (18/11/2021).
- [14] B. Brands, S.E. Obiora, J. Rehm et D.W. Lachenmeier. *Composition of surrogate alcohol from South-Eastern Nigeria*. *African Journal of Drug & Alcohol Studies*, 6 (2), 2007.
- [15] D.W. Lachenmeier, F. Kanteres et J. Rehm. Artisanal alcohol production in Mayan Guatemala: Chemical safety evaluation with special regard to acetaldehyde. *Science of the Total Environment* 407 5861-5868, 2009.
- [16] C. N'Tcha, G. Vieirap-Dalogue, B.P. Agbobatinkpo, A.P. Kayode, A.D. Adeyeni, J.T.C. Codjia, et L. Baba-Moussa. *Caractérisation physico-chimique et microbiologique du Kpètè-Kpètè, un ferment des bières traditionnelles produites au Bénin*. *Annales des sciences agronomiques* 19 (2) volume spécial: 69-88, 2015.
- [17] D.A. Ourega, L.B. Koffi, K.F. N'Guessani, G.J. Nemlin, K. Tano, et K.M. Dje. et al.,. Caractéristiques physico-chimiques des bières de plantain produites à partir de rebuts de plantain de différentes variétés de Côte d'Ivoire (Orishele, French 2 et Corne 1). *International Journal of Innovation and Applied Studies*. Vol. 10 No. 2, pp. 666-677, 2015.
- [18] C.M.B.K. Muyanja et B.S. Namugumya. Traditional processing, microbiological, physiochemical and sensory characteristics of Kwete, a Ugandan fermented maize-based beverage. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, Volume 9 No. 4, 2009.
- [19] WHO (World Healph Organization). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum*, 2017. [En ligne] Disponible: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf> (15/11/2021).
- [20] W. Kunze. *Technology Brewing and Malting*, 6th English edition. VLB Berlin, 2019.
- [21] R. Willaert. *The Beer Brewing Process: Wort Production and Beer Fermentation*, Dans: Y. H. Hui (Editor), *Handbook of Food Products Manufacturing*,. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey Published simultaneously in Canada pp.443 – 506, 2006.
- [22] P. Muredzi. *Use of Biotechnology in Traditionally Fermented African Foods*. School of Industrial Sciences and Technology Harare Institute of Technology, Ganges Rd, Belvedere, 2014.
- [23] H.D. Zakpaa, E.E. Mak-Mensah. et O.A. Avio. *Effect of storage conditions on the shelf life of locally distilled liquor (Akpateshie)*. *African Journal of Biotechnology* Vol. 9 (10), pp. 1499-1509, 8 March, 2010.
- [24] WHO (World Healph Organization). *Global status report on alcohol and health*, 2014. [En ligne] Disponible https://www.who.int/iris/bitstream/10665/112736/1/9789240692763_eng.pdf (01/07/2019).
- [25] W.B.E. Tabu et M.D-B. Bangala. Analyse de la conformité des boissons alcoolisées consommées à Kinshasa aux exigences techniques et légales (Synthèse bibliographique). *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*; 3 (2), 94-105, 2020.

