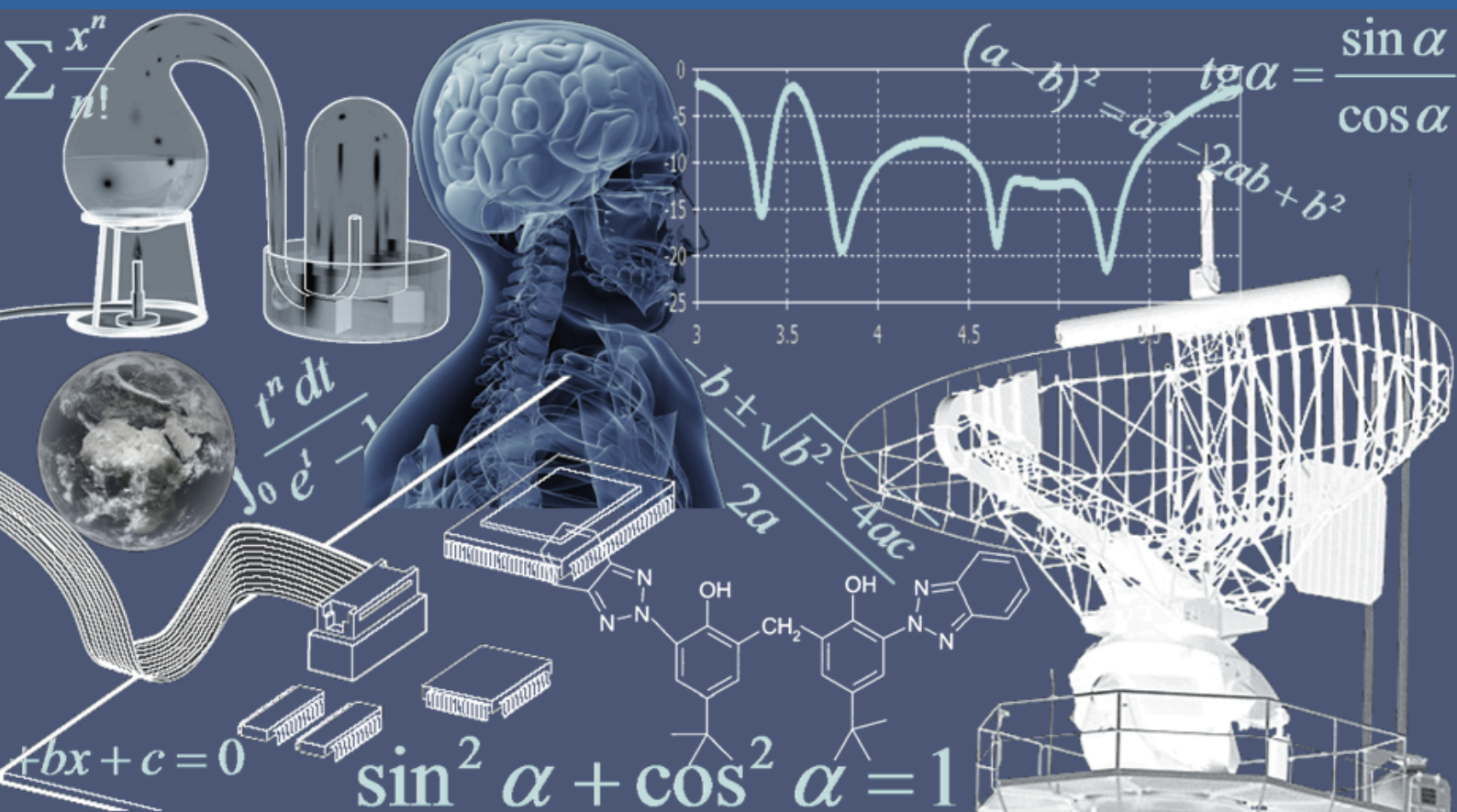


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 34 N. 1 October 2021



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Applied Studies

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

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

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

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

Editorial Advisory Board

Amir Samimi, Ph.D. of Science in Chemical engineering, Process Engineer & Risk Specialist of Oil and Gas Refinery Company, Iran
Mahsa Ja'fari, Department of Chemical Engineering, Abadan Faculty of Petroleum, Petroleum University of Technology, Abadan, Iran
Alin Velea, Paul Scherrer Institute, Switzerland
Kamyar Hasanzadeh, Aalto University, Finland
Ogbonnaya N. Chidibere, University of East Anglia, United Kingdom
Oumair Naseer, University of Warwick, United Kingdom
Wei Zheng, University of Texas Health Science Center at San Antonio, USA
Hu Zhao, University of Southern California, USA
Haijian Shi, Kal Krishnan Consulting Services, Inc, USA
Syed Ainul Abideen, University of Bergen, Norway
Malika Maataoui, Mohammed V University, Morocco
Fabio De Felice, University of Cassino and Southern Lazio, Italy
Giovanni Leonardi, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy
Siham El Gouzi, Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, Spain
Mohamed KOSSAÏ, European Business School EBS Paris, France
Mustafa Batuhan AYHAN, Marmara University, Turkey
Andrzej Klimczuk, Warsaw School of Economics, Poland
Corinthias P. M. Sianipar, Tokyo University of Science, Japan
Irfan Jamil, Sinohydro Engineering, China
Sukumar Senthilkumar, Chonbuk National University, South Korea
Bratu (Simionescu) Mihaela, Bucharest University of Economic Studies, Romania
Mirela Maria Codescu, National Institute for R&D in Electrical Engineering ICPE-CA, Romania
Milen Zamfirov, St. Kliment Ohridski Sofia University, Bulgaria
Svetoslava Saeva, Neofit Rilski South-West University, Bulgaria
Dimitris Kavrouidakis, University of the Aegean, Greece
Vaitsa Giannouli, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
Nataša Pomazalová, Mendel University in Brno, Czech Republic
Hazem M. Shaheen, Damanhour University, Egypt
Shalini Jain, Manipal University Jaipur, India
Amin Julia, National University of Malaysia, Malaysia
Mahdi Moharrampour, Islamic Azad University, Buin zahra Branch, Iran
Ricardo Rodriguez, Technological University of Ciudad Juarez, Mexico
Yuniel E. Proenza Arias, Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba
Elizabeth Bissell Miller, University of Missouri, Columbia
Bertin Désiré SOH FOTSING, University of Dschang, Cameroon
Antonella Petrillo, University of Cassino and Southern Lazio, Italy
Hong Zhao, The Pennsylvania State University, USA
Jianjun Chen, The University of Chicago, USA
Shaju George, Royal University for Women, Kingdom of Bahrain
Chandrasekaran Subramaniam, Kumaraguru College of Technology, India
Ilango Velchamy, New Horizon College of Engineering, India
M. Kumaresan, M.P.N.M.J. Engineering College, India
Mohammad Valipour, University of Tehran, Iran
Mohameden Sidi El Vally, King Khalid University, KSA
Mona Hedayat, Boston Children's Hospital, Harvard Medical School, USA
Suresh Kumar Alla, Advanced Medical Technologies, BD Technologies, USA
Ahmed Hashim Mohaisen Al-Yasari, Babylon University, Iraq
Aziz Ibrahim Abdulla, Tikrit University, Iraq
Khalid Mohammed Shaheen, Technical College of Mosul, Iraq
Baskaran Kasi, Kuala Lumpur Infrastructure University College, Malaysia
Nurul Fadly Habidin, Universiti Pendidikan Sultan Idris, Malaysia
Adnan Riaz, Allama Iqbal Open University, Pakistan
Syed Noor Ul Abideen, KPK Agricultural University, Pakistan
Arab Karim, M'Hammed Bougara University of Boumerdes, Algeria
Zoubir Dahmani, UMAB University of Mostaganem, Algeria
Mohsen Brahmi, Sfax University, Tunisia
Mongi Besbes, University of Carthage, Tunisia
Mai S. Mabrouk, Misr University for Science and Technology, Egypt
Olfat A Diab Kandil, Misr University for Science and Technology, Egypt

Munir Ahmed G. Timol, Veer Narmad South Gujarat University, India
Saravanan Vasudevan, Arunai Engineering College, India

Table of Contents

Nature des événements pluviométriques sur le bassin versant de la rivière Bia en Côte d'Ivoire <i>Kouassi K. Martin, Meledje N. Herman, Ahoussi K. Ernest, Kouassi K. Lazare, Koffi Y. Blaise, Oga Y. Marie Solange, Jean Biemi, and Soro Nagnin</i>	1-6
The Nascence of Translation Studies in the Western World: A Review of the Historical Background <i>Hicham Beddari</i>	7-12
Caractérisation des interactions nappe/rivière à partir du réseau hydrographique et du réseau de fractures du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire) <i>Gningnéri Souleymane Ouattara, Brou DIBI, Parfait Abé Sombo, and Oi Jules Mangoua Mangoua</i>	13-22
Job analysis: Characteristics and challenges of the process within an organizational structure <i>Tessa Moundjiegout, Mabika Landry Fabrice, and Maganga Bignoumba Rose de Lima</i>	23-31
Evaluation de l'impact de la mosaïque africaine sur le rendement en racines fraîches du manioc à l'Est de la République Démocratique du Congo <i>Ugentho Ukany Henri, Munganga-wa-Muhwandju Romain, Musungayi Mpongolo Eric, Clérisse M. Casinga, and Bashizi Kalinga Benoît</i>	32-37
Impact de l'efficacité des méthodes d'application de la fumure minérale sur la croissance et le développement végétatif du cotonnier (<i>Gossypium hirsutum</i> L.) à Mankono, Centre-nord de la Côte d'Ivoire <i>Moussa Sylla, Kra Frédéric Kouamé, and Coulibaly Inza</i>	38-44
Potentialités nutritionnelle et diététique des champignons sauvages comestibles rencontrés sur le marché à Lubumbashi (RDC) <i>M.R. Kanga-Kanga, A. Ilunga Ndala Wa Ngoie, G. Ngoie Nsenga, M. J. Kahenga Mwana Mwamba, D. Badibanga Kasumpa, and Kahazi Sumba I.</i>	45-50
Evaluating the Predictive Accuracy of Heston Stochastic Volatility Model for Currency Options using Local and Global Calibration <i>Mohammed Bouasabah</i>	51-61
L'impact de l'internationalisation des PME marocaines sur les leviers de contrôle de gestion <i>Soukayna Ouachi, Meriem Alaoui, Nadia Bakhouch, and Mokhtar Oikaoi</i>	62-70
Etat des lieux de la biologie délocalisée au sein du Centre Hospitalier Universitaire Ibn Rochd de Casablanca <i>Morjan Asmaa, Omari Mohamed, and Kamal Nabiha</i>	71-73
Etude comparative de la variabilité de la Procalcitonine et de la C-Réactive Protéine dans le Syndrome Respiratoire Aigu Sévère à Coronavirus-2SARS-CoV-2, chez les patients hospitalisés en réanimation <i>Morjan Asmaa, Omari Mohamed, Elmernissi Zakaria, and Kamal Nabiha</i>	74-80
Evaluation of Human Resources Information System Success in public sector <i>Abdelilah El Attar and Youssef Mazouz</i>	81-90
Caractérisation hydrologique du bassin versant de la Marahoué (Bandama, Côte d'Ivoire) <i>Amani Michel Kouassi, Adjoa Victoire Sandrine Assoko, and Koffi Eugène Kouakou</i>	91-101
Apport des indices climatiques à la redéfinition de la régionalisation climatique de la Côte d'Ivoire dans un contexte de climat changeant <i>Jean-Muller Kouao, Amani Michel Kouassi, Aimé KOUDOU, and Amlhan Claudia Félicité Gbola</i>	102-114
Modélisation statistique et alertes de crues dans le bassin versant de la Marahoué (Bandama, Côte d'Ivoire) <i>Assoko Adjoa Victoire Sandrine, Amani Michel Kouassi, and Nassa Relwindé Abdoul-Karim</i>	115-127

Nature des évènements pluviométriques sur le bassin versant de la rivière Bia en Côte d'Ivoire

[Nature of rainfall events in the catchment area of the Bia river in Ivory Coast]

Kouassi K. Martin¹⁻³, Meledje N. Herman³, Ahoussi K. Ernest¹, Kouassi K. Lazare²⁻³, Koffi Y. Blaise¹, Oga Y. Marie Solange¹, Biemi Jean¹, and Soro Nagnin¹

¹Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan - Cocody, Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (UFR-STRM), Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LSTEE), 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

²Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Unité de Formation et de Recherche en Environnement (UFR-Environnement), 12 BP V 25 Daloa 12, Côte d'Ivoire

³Université Nangui Abrogoua Abidjan, Centre de Recherche en Ecologie (CRE), 08 BP 109 Abidjan 08, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 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 Rainfall-related phenomena affect the hydroelectric dams functioning and productivity. In Côte d'Ivoire the trans boundary Bia River basin, hydroelectric aménagements of Ayamé 1 and 2, is no exception. Flooding has caused extensive damage in recent years to these two (2) aménagements. However, the rains nature that caused these events is statistically unknown. This study objective is to identify the rainfall events nature in the Bia basin. The statistical modelling approach has been adopted. The daily rainfall from 1941 to 2000 and rainfall higher threshold than 100 mm from 2001 to 2015 available at the Aboisso, Adiaké, Bianouan, Ayamé and Agnibilékro stations has been used.

The results show that the minimum threshold for abnormal rainfall in the Bia basin is 103 mm. The rains nature identification between 2001 and 2015 reveals, eight (08) rainfall events with an occurrence probability greater than 6 years are observed. These events are consisted of four (4) abnormal rains, three (03) very abnormal rains and one (1) exceptional rainfall observed during the years 2004, 2007, 2009 and 2015.

KEYWORDS: Abnormal rains threshold, Statistic law, Bia watershed, Return period.

RESUME: Les phénomènes liés à la pluviométrie affectent le fonctionnement et la productivité des ouvrages hydroélectriques. En Côte d'Ivoire le bassin transfrontalier de la rivière Bia qui abrite les aménagements hydroélectriques d'Ayamé 1 et 2 n'échappe pas à cet état de fait. Les inondations causent de nombreux dégâts depuis quelques années sur ces deux (2) aménagements. Cependant, la nature des pluies à l'origine de ces événements sont statistiquement méconnus. L'objectif de cette étude est d'identifier la nature des événements pluvieux sur le bassin de la Bia. La démarche adoptée est celle de la modélisation statistique. Les données utilisées sont constituées de pluie journalière de 1941 à 2000 et de pluie supérieure à 100 mm de 2001 à 2015 disponibles aux stations d'Aboisso, d'Adiaké, de Bianouan, d'Ayamé et d'Agnibilékro. Les résultats montrent que le seuil de pluie anormale sur le bassin de la Bia est de 103 mm. L'identification de la nature des pluies entre 2001 et 2015 révèle, huit (08) événements pluviométriques de probabilité d'occurrence supérieure à 6 ans. Ces événements sont constitués de quatre (4) pluies anormales, trois (03) pluies très anormales et une (1) pluie exceptionnelle survenues au cours des années 2004, 2007, 2009 et 2015.

MOTS-CLEFS: Seuil de pluie anormale, Lois statistique, Bassin versant de la Bia, Période de retour.

1 INTRODUCTION

Les événements climatiques extrêmes liés à la pluviométrie ont pris l'allure de catastrophes naturelles. Ces phénomènes se réalisent avec une plus grande fréquence et leurs impacts sont de plus en plus considérables depuis les années 2000. Ces phénomènes affectent les pays surtout en voies de développement constituant ainsi une contrainte majeure aux développements économiques et social.

En Côte d'Ivoire, les récurrentes inondations et éboulements de terrains survenus entre 2008 et 2014 ont entraîné au moins 142 décès et des dégâts matériels considérables ainsi que des centaines sans abris dans la zone d'Abidjan au sud de la Côte d'Ivoire [1]. Ces évènements à forts impacts socio-économiques n'épargnent pas les bassins versants aménagés. Ainsi sur le barrage de Fayé, les inondations de 2003 ont causées des dégâts sur la végétation et une partie de la ville de San Pedro. Le bassin transfrontalier de la rivière Bia qui héberge les plus vieux barrages hydroélectriques (Ayamé 1 & 2) de la Côte d'Ivoire a enregistré des inondations à forts impacts socio-économique en 1966 et 1975 puis en 2018 et 2019.

Les réflexions quant aux causes réelles de ces phénomènes attribuent systématiquement leurs avènements à des précipitations journalières dites exceptionnelles, car, les catastrophes pour la plupart surviennent après un épisode de pluie diluvienne. Pourtant, la nature d'un évènement pluvieux ne pourrait se définir par rapport aux dommages causés par l'évènement [2]; [3]. En effet une pluie peut avoir un impact considérable sur la population sans être statistiquement extrême. Dès lors, l'identification de la nature de tout évènement pluvieux s'avère nécessaires. Cette connaissance permet de mieux appréhender les phénomènes liés à la pluie et d'identifier les mesures concernant la réduction de son impact. C'est dans ce contexte que situe la présente étude. Elle a pour objectif de mettre en évidence la nature des évènements pluvieux sur le bassin versant de la rivière Bia. L'approche utilisée est la modélisation statistique. Elle consiste à associer à une variable de pluie ou de débits extrêmes une période de retour permettant d'identifier la nature exceptionnelle ou non [4]; [5].

2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La Bia est une rivière transfrontalière entre la Côte d'Ivoire et le Ghana. La présente étude porte sur la partie ivoirienne du bassin qui couvre une superficie de 3905 Km² (figure 1). Le relief de la Bia est défini par des côtes variant de 98 à 119 m à dans la zone de Bianouan et parcourt les vallées en recoupant tous les alignements de collines. Cette altitude reste plus ou moins constante sur une dénivellation de 25 m jusqu'au barrage d'Ayamé 1 où les altitudes atteignent 98 m. Le lit inférieur au barrage enregistre des altitudes allant de -4 à 43 m dans les localités d'Adaou et d'Aboisso jusqu'à l'embouchure (lagune Aby).

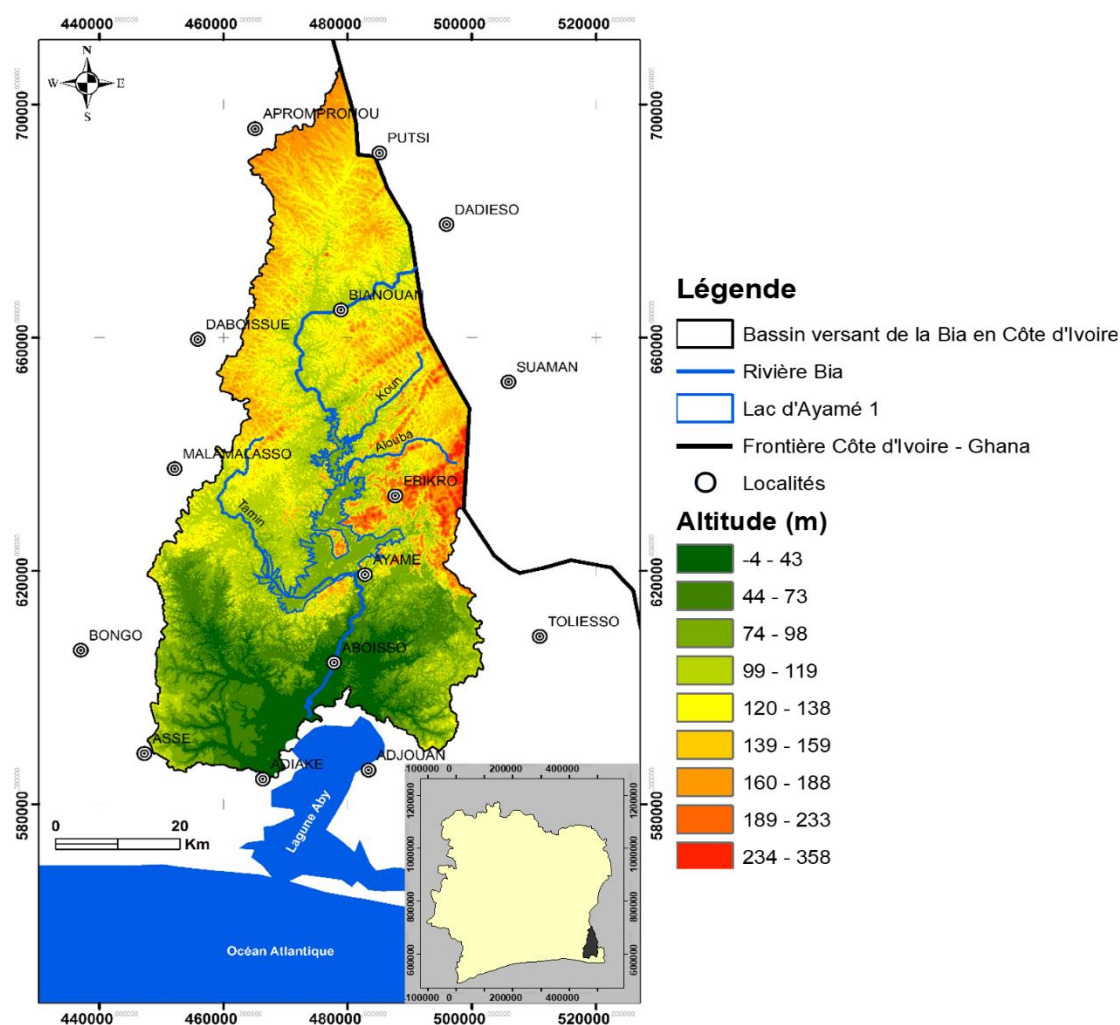


Fig. 1. Présentation du bassin versant de la Bia

Le lit majeur de la partie supérieure au lac d'Ayamé 1 enregistre des altitudes comprises entre 120 m et 138 m. Dans, l'extrême centre est (Ebikro) et nord (Diamarakrou) les altitudes sont les plus importantes et atteignent 358 m.

L'analyse pluviométrique faite par [6] met en évidence deux (2) zones climatiques sur le bassin de la Bia. Une zone tropicale humide (1460 mm) correspond au nord du bassin avec une seule saison des pluies et une zone subéquatoriale (1870 mm) correspond au Sud du bassin avec deux saisons des pluies distinctes.

3 DONNEES

Les données de pluies utilisées dans cette étude sont issues des stations d'Aboisso, d'Adiaké, d'Agnibilékro, d'Ayamé et de Bianouan. Elles sont constituées de pluie journalière disponible du 1^{er} janvier 1941 au 31 décembre 2000 et de pluie supérieure à 100 mm de 2001 à 2015. Les pluies journalières sont utilisées pour l'estimation des quantiles de pluie maximale alors que les pluies supérieures à 100 ont servi à analyser de la nature de la pluviométrie. Le choix du seuil de 100 mm a été guidé par les conclusions des travaux de [7]. En effet, ces auteurs ont révélé que le seuil minimal d'observation de la pluie anormale sur le bassin versant de la Bia est autour de 100 mm.

4 METHODE

4.1 ESTIMATION DES QUANTILES DE PLUIE JOURNALIERE EXTREME

La méthode de modélisation statistique est adoptée dans cette étude pour estimer les quantiles de pluie extrême. Elle se décline au choix des extrêmes de pluies et des lois statistiques ainsi qu'à l'estimation des fréquences empiriques et des paramètres des lois.

Les extrêmes de pluies choisies sont les pluies maximales journalières extraites à partir de la pluie journalière de 1941 à 2000 issues des différentes stations.

En ce qui concerne les lois statistiques, aucune règle n'existe dans la littérature permettant de justifier le choix d'un modèle statistique par rapport à un autre. Cependant, ce choix peut être guidé par les résultats des études antérieures. Ainsi, pour la présente étude, le choix des lois a été guidé par les conclusions des travaux menées en Côte d'Ivoire [8]; [9]; [10] et sur le bassin de la Bia [7]. En effet, ces auteurs ont révélé que les pluies extrêmes s'estiment de façon adéquate avec les lois de Fréchet, de Gumbel et Log normale 2 dont les fonctions de densité de probabilité sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1. Modèles statistiques présélectionnées pour l'ajustement des extrêmes de pluie

Modèles statistiques	Fonction de densité de probabilité	Paramètres
Gumbel	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left[-\frac{x-u}{\alpha} - \exp \left(\frac{x-u}{\alpha} \right) \right]$	α, u
Fréchet	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \left(1 - \frac{x-u}{\alpha} \right) \exp \left\{ - \left[1 - k \left(\frac{x-u}{\alpha} \right) \right]^{\frac{1}{k}} \right\}$	$\alpha, u \text{ et } k$
Lognormale 2	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\}$	$\mu \text{ et } \sigma$

Le choix des modèles statistiques est suivi de l'estimation de la fréquence empirique et des paramètres.

L'estimation de la fréquence empirique consiste pour chacune des lois sélectionnées à l'estimation la probabilité de non dépassement F_i qu'il convient d'attribuer à chaque valeur de pluie maximale. Il existe de nombreuses formules d'estimation de la fonction de répartition à l'aide de la fréquence empirique. Elles reposent toutes sur un tri de la série par valeurs croissantes permettant d'associer à chaque valeur son rang i . Dans cette étude, la méthode retenue pour les trois (3) lois est celle de Cunnane [11]. Cette probabilité empirique a l'avantage d'être moins biaisée sur les valeurs extrêmes [12].

$$F_i = \frac{i - 0,4}{n + 0,2}$$

Les paramètres de toutes ces lois sont déterminés par la méthode du maximum de vraisemblance car cette méthode a l'avantage de produire une faible variance d'échantillonnage des paramètres estimés et par conséquent une faible variance des quantiles [13] et [14].

Les quantiles de pluies maximales journalières sont estimés selon des périodes de retour de 6, 10, 30 et 100 ans. Ces périodes correspondent respectivement à des événements de nature anormale et très anormale puis exceptionnelle et très exceptionnelle. Tout événement de période de retour inférieur à 6 ans est par conséquent normal [4].

4.2 NATURE DES EVENEMENTS PLUVIOMETRIQUES DE 2001 A 2015

La nature de la pluie est mise en évidence en comparant la pluviométrie d'une station *i* aux quantiles de pluies de cette même station estimés par les différentes lois aux différentes périodes de retour. Par exemple, une pluie supérieure à 100 mm de la station d'Aboisso sera de nature anormale si son intensité est supérieure au quantile de pluie de période de retour de 6 ans mais inférieure à celui correspondant à la période retour de 10 ans de cette même station. Par cette démarche, on pourra distinguer les pluies de nature normale, anormale et très anormale puis les pluies exceptionnelles et très exceptionnelles.

5 RESULTATS

5.1 ESTIMATION DES QUANTILES DE PLUIE JOURNALIERE EXTREME

Le tableau 2 résume les quantiles de pluie journalière extrême estimés avec les lois de Fréchet (Fre), Log normale 2 (LN2) et de Gumbel (Gu) pour aux différentes périodes de retour. Les résultats montrent que les quantiles de pluie augmentent proportionnellement avec les périodes de retour. Dans la majorité des cas, les faibles valeurs de quantiles sont observées avec la loi de Gumbel à Agnibilékro alors que les plus fortes valeurs s'enregistrent avec la loi de Fréchet à Adiaké. En outre, le seuil minimal d'occurrence de la pluie anormale (pluie de période de retour de 6 ans) et très anormale (pluie de période de retour de 10 ans) est respectivement de 103 mm et 116 mm tandis que la pluie exceptionnelle (pluie de période de retour de 30 ans) et très exceptionnelle (pluie de période de retour de 100 ans) survient selon une hauteur minimale de pluie respectives 143 mm et 171 mm. A l'extrême, la pluie exceptionnelle et très exceptionnelle s'observe pour une pluviométrie respective de 321 mm et 361 mm alors que la pluie anormale et très anormale, sont observées selon des seuils respectifs de 186 mm et 208 mm.

Tableau 2. Quantiles de pluie journalière extrême

Stations	Lois	Nature de pluie maximale journalière			
		Très exceptionnelle	Exceptionnelle	Très anormale	Anormale
Aboisso	Fre	247	205	168	150
	LN2	243	205	169	151
	Gu	243	204	168	150
Adiaké	Fre	361	321	208	185
	LN2	301	253	208	186
	Gu	299	251	206	184
Agnibilékro	Fre	173	144	116	103
	LN2	174	144	117	104
	Gu	171	143	116	103
Ayamé	Fre	258	200	154	134
	LN2	223	186	153	136
	Gu	216	182	149	134
Bianouan	Fre	337	263	202	175
	LN2	322	260	204	178
	Gu	298	246	198	175

5.2 NATURE DES EVENEMENTS PLUVIEUX DE 2001 A 2015

Le tableau 3 résume la nature de la pluviométrie aux différentes stations de 2000 à 2015. Les résultats mettent en évidence huit (08) événements pluvieux ayant une probabilité d'occurrence supérieure à 6 ans. Ces événements sont constitués de quatre (04) pluies

anormales, trois (03) pluies très anormales et une (01) pluie exceptionnelle. Les pluies anormales ont été observées à Aboisso les 09 et 10 juin 2009 et à Adiaké le 04 octobre 2007 et 11 juin 2009. Les pluies très anormales sont survenues à Adiaké et à Agnibilékro respectivement les 03 juin et 19 mai 2004 puis à Ayamé le 07 octobre 2015. L'unique pluie exceptionnelle a été enregistrée à Bianouan le 28 juillet 2007.

Tableau 3. Nature des évènements pluvieux de 2001 à 2015

Année	Lois	Aboisso	Adiaké		Agnibilékro	Ayamé	Bianouan
		Pluie anormale (en jour)	Pluie anormale (en jour)	Pluie très anormale (en jour)	Pluie très anormale (en jour)	Pluie très anormale (en jour)	Pluie exceptionnelle (en jour)
2004	Fre	0	0	1	1	0	0
	LN2	0	0	1	1	0	0
	Gu	0	0	1	1	0	0
2007	Fre	0	1	0	0	0	1
	LN2	0	1	0	0	0	1
	Gu	0	1	0	0	0	1
2009	Fre	2	1	0	0	0	0
	LN2	2	1	0	0	0	0
	Gu	2	1	0	0	0	0
2015	Fre	0	0	0	0	1	0
	LN2	0	0	0	0	1	0
	Gu	0	0	0	0	1	0

6 DISCUSSION

La nature des précipitations, a été analysée sur le bassin versant de la Bia de 2001 à 2015 à partir des quantiles de pluie estimés par les lois de Fréchet, de Gumbel et Log normale 2 de 1941 à 2000. Ainsi, les quantiles estimés révèlent que le seuil minimal d'observation de la pluie anormale est autour de 100 mm. Cette valeur a été identifiée comme seuil minimale de risque d'inondation de la ville d'Abidjan [15]. Par ailleurs, du 1^{er} janvier 2001 au 31 décembre 2015, les trois (3) modèles mettent en exergue huit (08) évènements pluvieux dont la probabilité d'occurrence excède 6 ans sur le bassin de la Bia. Ces évènements sont constitués de quatre (4) pluies de nature anormale dont deux (2) à Aboisso et deux (2) Adiaké, de trois (3) pluies très anormales survenues à Adiaké, à Ayamé et à Agnibilékro puis une (1) pluie exceptionnelle observée à Bianouan. Ainsi, de 2001 à 2015 sur le bassin versant de la rivière Bia, la zone d'Aboisso a enregistré des évènements pluviométriques de période de 6 ans. À Adiaké, à Ayamé et à Agnibilékro les pluies extrêmes sont survenues selon une période de retour de 10 ans alors qu'à Bianouan les évènements extrêmes liés à la pluie ont une période de retour de 30. Cependant, une absence de pluie de nature très exceptionnelle ($T = 100$ ans) est donc observée. Ces résultats montrent que les évènements pluviométriques extrêmes entre 2001 et 2015 n'ont pas affecté le bassin de la Bia de la même manière. Cette différence dans la répartition de la pluie extrême a été déjà mise en exergue dans plusieurs études [6]; [16] sur ce même bassin versant. En effet, selon ces auteurs une décroissance est observée sur le bassin versant de la Bia du Sud vers le Nord. Cette évolution a été mise en évidence dans la présente étude dans la mesure où sur les huit (8) pluies statistiquement extrêmes observées, cinq (5) sont survenus à au sud du bassin (Aboisso et à Adiaké). Aussi, les pluies du 09, 10 et 11 juin 2009 qui ont été anormales à Adiaké et Aboisso se sont avérées normales sur le reste du bassin de la Bia. La proportion annuelle des évènements pluviométriques observés pour les différentes stations de 2001 à 2015, reste inférieure à 1 évènement par an. Cette faible proportion montre que la pluie a été majoritairement normale entre 2001 et 2015 révélant ainsi une baisse des extrêmes [17]. ont observés une tendance en baisse des extrêmes de pluie aux sud-est de la Côte d'Ivoire. En outre les trois (3) modèles convergent dans l'estimation des évènements pluviométrique extrême aux différentes stations. Cette convergence s'explique par les faibles erreurs relatives (inférieure à 10%) observées entre les quantiles estimés de 1941 à 2000 [7]. Ainsi, sur le bassin versant de la Bia l'un des trois (3) modèles (Fréchet, Gumbel et Log normale 2) utilisés dans la présente étude peut servir dans l'estimation de la nature des pluies liée aux phénomènes extrêmes. Une telle observation pourrait justifier la préférence de la loi de Gumbel au profit des autres lois [18]; [18] et [19]. En effet, la simplicité de sa formulation et l'aisance dans la détermination de ses paramètres sont de nature à privilégier ce modèle au profit des autres dont la complexité justifie une rare utilisation [18].

7 CONCLUSION

Les résultats de cette ont montré à partir des quantiles estimés que le seuil minimale de pluie anormale sur le bassin de la Bia est de 103 mm. Une convergence des trois (3) lois (Gumbel, Fréchet et Log normale 2) dans l'identification de la nature de la pluviométrie a été

observée. Ainsi, ces quantiles ont permis de mettre en évidence huit (8) évènements pluviométriques de période de retour excédant 6 ans en évidence. Ces évènements sont composés de quatre (4) pluies de nature anormale dont deux (2) à Aboisso (09 et 10 juin 2009) et deux (2) Adiaké (11 juin 2009 et 04 octobre 2007), trois (3) pluies très anormales survenues à Adiaké (03 juin 2004), à Ayamé (07 octobre 2015) et à Agnibilékro (19 mai 2004) puis une (1) pluie exceptionnelle observée à Bianouan (28 juillet 2007).

C'est donc dire que de 2001 à 2015, sur le bassin versant de la Bia, la pluie a été majoritairement normale (période de retour inférieur à 6 ans). En outre aucun évènement pluviométrique très exceptionnel (période de retour supérieur ou égale à 100 ans) n'a été observé.

REFERENCES

- [1] Hauhouot et Tamboura, "Analyse du risque pluvial dans les quartiers précaires d'Abidjan: Etude de cas à Attécoubé. *Geo-Eco-Trop*, 32, p. 75 – 82, 2008.
- [2] S. Sene et P. Ozer, Évolution pluviométrique et relation inondations – événements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 42, p. 27-33, 2012.
- [3] G. Panthou, Analyse des extrêmes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et de leurs évolutions au cours des 60 dernières années. Thèse de Doctorat Université de Grenoble, 283p, 2013.
- [4] B. Monhymont et G. R. Demaree, Courbes intensité-durée-fréquence des précipitations à Yangambi, Congo, au moyen de différents modèles de type Montana. *Journal des Sciences Hydrologiques*, 51 (2), pp. 239 – 253, 2006.
- [5] N. B. Nnomo, Contribution à l'actualisation des normes hydrologiques en relation avec les changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest. Thèse unique de doctorat, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, France, 254p, 2016.
- [6] N. H. Meledje, K. L. Kouassi, Y. N. N'go et I. Savane, Caractérisation des occurrences de sécheresse dans le bassin hydrologique de la Bia transfrontalier entre la Côte d'Ivoire et le Ghana: contribution des chaînes de Markov. *Cah Agric*, 24 (3): 186 -197. Doi: [org/10.1684/agr.2015.0755](https://doi.org/10.1684/agr.2015.0755), 2015.
- [7] K. M. Kouassi, K. B. Yao, N. H. Meledje, K. L. Kouassi, N. Soro et J. Biemi, Extreme rainfall estimation on Bia Watershed River in south-eastern of Côte d'Ivoire: theoretical and practical approaches application. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 6 n° 2, p. 24 – 28, 2019.
- [8] B. T. A. Goula, B. Konan, Y. T. Brou, I. Savane Fadika V. et Srohourou B, Estimation des pluies exceptionnelles journalières en zone tropicale: cas de la Côte d'Ivoire par comparaison des lois Lognormale et de Gumbel. *J. des Sc. Hydrologiques*, 52 (2), p. 49 – 67, 2007.
- [9] G. E. Soro 2011. Modélisation statistique des pluies extrêmes en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire, 192p.
- [10] A. M. Kouassi, R. A. Nassa, K. B. Yao, K. F. Kouame, et J. Biemi, Modélisation statistique des pluies maximales annuelles dans le district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire). *Revue des sciences de l'eau*, 31 (2), p. 147–160, 2018b.
- [11] C. Cunnane, Unbiased plotting position. *Journal of Hydrology*, 37, p. 205 – 222, 1978.
- [12] S. Guo, A discussion on unbiased plotting positions for the extreme value distribution. *Journal of Hydrology*, 121 (1-4), p. 33 – 44, 1990.
- [13] J. Greenwood, J. Landwehr, N. Matalas et J. Wallis, Probability weighted moments: definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. *Water Resources Research*, 15, p. 1049 – 1054, 1979.
- [14] P. Meylan, A. C. Favre et A. Musy, Hydrologie fréquentielle, une science prédictive. 1ère Edition. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne, 174p, 2008.
- [15] L. Konate, B. H. Kouadio, B. K. Dje, G. E. Ake, B. V. H. N'guessan, L. Gnagne, Caractérisation des pluies journalières intenses et récurrences des inondations: apport des totaux glissants trois (3) jours à la détermination d'une quantité seuil d'inondation (District d'Abidjan au Sud-Est de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 17 No. 3, p. 990-1003, 2016.
- [16] K. M. Kouassi, K. L. Kouassi, K. B. Yao, N. H. Meledje, J. Biemi, T. Lasm et R. Nathalie, Variabilité des extrêmes pluviométriques sur le bassin versant de la rivière Bia (Sud-Est, Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal*, 14 (2), p. 1857 – 7881, 2018a.
- [17] A.B.T. Goula, G. E. Soro, W. Kouassi, et B. Srohourou Tendances et ruptures au niveau des pluies journalières extrêmes en Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). *Journal des Sciences Hydrologiques*, Vol. 57, No. 6, p. 1067–1080, 2012.
- [18] A. I. Ague et A. Afouda, Analyse fréquentielle et nouvelle cartographie des maxima annuels de pluies journalières au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9 (1), p. p121-133, 2015.
- [19] J.-M. Fallot et J.-A., Hertig, Détermination des précipitations extrêmes en Suisse à l'aide d'analyses statistiques et augmentation des valeurs extrêmes durant le 20ème siècle. *Mémoire de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, p. 23-34, 2013.

The Nascence of Translation Studies in the Western World: A Review of the Historical Background

Hicham Beddari

Ibn Zohr University, Agadir, Morocco

Copyright © 2021 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 aim of the present paper is to offer a generic historical overview of the nascence of translation studies as an institutionalized and a full fledged discipline. The study underscores the rudimentary approaches and concepts to translation that have come to the fore at various points in time of the western culture, starting from the work of Roman commentators (Cicero and Horace more specifically) through the second half of the twentieth century when translation studies presented itself as a new discipline. It is, without argument, James Holmes' famous and widely cited paper, in which he delineated the scope and structure of the field of translation studies, that served as a valid reference for translation scholars to formulate translation theories, gave rise to empirical research and envisaged the future of the discipline. Establishing itself as a standalone field of scholarly study, Translation studies has been observed to gradually expand and interface with different disciplines bringing a new perspective to translation theory.

KEYWORDS: Translation studies, approaches, discipline, interdiscipline, history.

1 INTRODUCTION

Translation, as a formal academic discipline, is relatively new, only a few decades old. The inception of the field of study in focus is reported to date back to 1972 onwards when James Holmes presented his groundbreaking paper under the theme of 'The Name and Nature of Translation Studies (TS)' in Copenhagen. Owing to The aforementioned 'founding document', in Edwin Gentzler's (2014) words, the field of TS gained much ground with respect to procuring ample scope and institutional structure. In the western world, prior to the emergence of this discipline, translation history (the 'pre-discipline' phase, a phrase borrowed from Gentzler) went through different phases of overheated debates and life-threatening moments due to the prevalent and dominant ideological beliefs of the Church, as will be discussed below, regarding the translation of the sacred texts. Early discussions of the translation practice came to light with Cicero and Horace's famous and frequently cited dichotomy of literal (word-for-word) and free (sense-for-sense) translation. In this study, the evolution of the basic lines of the history of translation since the Roman times up until the second half of the twentieth century (when the new discipline was labelled by a generally accepted term, and began to intersect with branches outside of its demarcated sphere), is chronologically traced. The following generally cited historical epochs can be mentioned in this regard, namely Antiquity, Renaissance and Reformation, Romanticism, Victorians and Modern Times. This review, albeit incomprehensive, casts considerable light on the dynamic nature of the field in focus before and during its nascence. Accordingly, TS has been a point of departure in the development of a plethora of theories, approaches, and methods running up to the present time.

2 TRANSLATION STUDIES: A BRIEF HISTORY OF THE DISCIPLINE BEFORE THE TWENTIETH CENTURY

It is widely accepted that translation is an ancient activity, and the need for it seems to arise since the earliest days of human interaction. The appearance and the spread of a multitude of languages across the globe, and the demise of the Babel myth (based on the idea of having one language for the entire mankind cited in the Genesis) made it necessary for people to communicate to one another, and thus translation came into being.

Although translation is an ancient activity, translation studies, as an academic discipline, is "relatively young, no more than a few decades old" (Baker, 2001: 277). Many designations had been coined to refer to the aforementioned discipline. Some scholars refer to it as the 'Science of Translation' (Nida 1969), others as 'Translatology' or 'Traductologie' (Goffin 1971), but the most generally accepted label, undoubtedly, is 'Translation Studies' (ibid: 277).

The vast majority of Western scholars affirm that the history of translation dates back to the Roman commentator Cicero (first Century BCE). His contribution to the field under discussion lies in his clear distinction between, the widely cited dichotomy, literal (word-for-word) and free (sense-for-sense) translation. In his famous work *De optimo genere oratorum* [On the Best Kind of Orators] where he discussed the translations of the Greek orators Demosthenes and Aeschines, he writes:

I did not translate as an interpreter, but as an orator, keeping the same ideas and the forms, or as one might say, the figures of thought, but in a language which conforms to our usage and in so doing, I did not hold it necessary to render word-for-word, but I expressed the general style and the force of language

(quoted in Munday, 2001: 19)

It is self-evident that word-for-word translation is by large avoided and sense-for-sense is employed for the purpose of preserving the spirit and the creative energy embedded in the original text language. Word-for-word translation has also been relegated to the sidelines by Horace in his popular passage from his *Ars Poetica*. He highlighted the importance and role of the creative translation where word-for-word approach is shunned (Munday, 2001: 20). Both Cicero and Horace's views and comments regarding the translation practice influenced translators of the centuries to come.

From a religious perspective, the theologian and translator Saint Jerome (347-420 AD) engaged in 'disseminating the word of God' by translating the Bible into Latin (Bassnet, 2002: 53). In line with Cicero and Horace's viewpoints, he declares that he is in favor of the sense-for-sense translation. For him, imitating the wording of the source text (ST) creates an absurd translation, and "cloaks the sense of the original" (Munday, 2001: 20). However, free interpretation instead of literal translation of the religious texts in that period of time would certainly jeopardize the translator's life and condemn him for heresy. Bible translation remained an issue of great concern for translators, and a controversial topic for many centuries. However, the advent of Reformation marked a paradigm shift in the role of translation. It was employed as a 'weapon in both dogmatic and political conflicts as nation states began to emerge and the centralization of the church started to weaken, evidenced in linguistic terms by the decline of Latin as a universal language' (Bassnet, 2002: 53).

The first translation of the Bible into English was the Wycliffe Bible in the late 14th Century (1380 and 1384). The primary goal was to enable each and every person, especially the layman, to have easy access to the 'crucial text' in an intelligible language. Translating the Bible into the vernacular languages were in opposition to the ideology of the Church, and deemed this kind of translation as a heretical act (ibid: 54). Martin Luther (1483-1546), the German Catholic priest and professor of theology, played an important role in the Reformation and the enhancement of the German language. When translating the New Testament and the old Testament (with the help of his collaborators) into German, he opted for employing 'regional yet socially broad dialect'. Otherwise stated, he expressed the scriptures in a language that is spoken and easily understood by the laypeople. Luther's major contribution to translation lies in his shift of focus towards the target readers, and the target text (TT) both in terms of style and meaning. Like St Jerome, literal translation was firmly rejected by Martin Luther (Munday, 2001: 23).

In the seventeenth Century, people started to formulate theories in relation to how translation should be practiced, which is deemed to be a great leap forward in translation theory. Early attempts at systematic translation theory were made by three prominent theorists: John Dryden, Etienne Dolet, and Alexander Fraser Tytler.

Dryden (1680), an English poet and translator, succinctly categorized the translation process into three basic types. These types were to have a great impact on the subsequent writings on translation. These are:

- (1) Metaphrase, a word by word approach, which corresponds to literal translation.
- (2) Paraphrase, or translation with latitude, which corresponds to 'sense-for-sense' translation.
- (3) Imitation, where the translator can abandon the text of the original depending on the situation at hand, and it corresponds more or less to adaptation.

On this account, Dryden was in favour of paraphrase, 'advising that metaphrase and imitation be avoided' (Munday, 2016: 43).

Another important theorist who significantly contributed to the formulation of translation theory and the development of the French language is the French humanist Etienne Dolet (1509-46). He managed to formulate principles of translation in a

prescriptive fashion. In his 1540 publication '*La manière de bien traduire d'une langue en aultre*' (quoted in Munday 2016: 44-45), Dolet established five principles for translators sorted in descending order with the most important first:

- (1) The translator must understand the sense and meaning of the original author, although he should feel free to clarify obscurities.
- (2) The translator should have a perfect knowledge of both SL and TL
- (3) The translator should avoid literal translation
- (4) The translator should avoid obsolete and not frequently used forms.
- (5) The translator should arrange words in a way as to avoid clumsiness.

Here again, the main goal for the translator is to reproduce the 'force and spirit' of the SL text into the TT (sense-for-sense), and shy away from word-for-word approach.

Alexander Fraser Tytler's systematic study of translation, in English, (1797: 209-210, quoted in Munday, 2016: 45) defined a 'good translation' based on three general laws or rules:

- (1) The translation should give a complete transcript of the ideas of the original work.
- (2) The style and manner of writing should be of the same character with that of the original.
- (3) The translation should have all the ease of the original composition

Two basic concepts are to be noted and marked the debate over the translation process in the seventeenth and eighteenth Century. The first notion related to the former century is imitation, and the latter century's main discussion is about the recreation of the spirit of the ST (Fidelity). With the coming of the Romanticism in the beginning of the nineteenth century, new issues came up to the surface. The Romantics scholars gave considerable attention to issues of 'translatability or untranslatability and the mythical nature of translation' (ibid: 47).

The German philosopher and translator of Plato, Friedrich Schleiermacher played a pivotal role in this regard. Unlike any scholar discussed above, in his famous seminal essay '*On the different methods of translating*' Schleiermacher differentiated between two different types of texts, and affirmed that considerable attention should be given to his dyadic text type. With regards to the translation of literary and philosophical works, he proposed two paths for translators: 1) move the reader towards the writer (alienating) or 2) move the writer towards the reader (naturalizing). Hence, he declared that his preferred strategy is the first one (Munday, 2016: 47-48). It is axiomatic that Schleiermacher's method aimed at making the reader understand the foreign concepts and culture in its own terms, and 'make additional demands on readers, re-educating them in the process and bringing them to a respect for the difference' (Malmkjær & Windle, 2011: 23). Schleiermacher's approach was to exert much influence on translation theorists and researchers of the succeeding generations, including Katerina Reiss's text typology, Lawrence Venuti's strategies of domesticating and foreignizing, George Steiner's 'hermeneutic motion', and Walter Benjamin's vision of 'language of translation' (Munday, 2016: 49).

Translation theory of the nineteenth and early twentieth century in Britain was characterized by a mounting interest in 'the status of the ST and the form of the TL' (Munday, 2001: 29). Such concern was clearly shown in an overheated debate between Francis Newman and Matthew Arnold. Newman was an avid fan of archaic translation that is infused with 'foreignness', whereas Arnold favoured the use of 'transparent translation method' (ibid: 29). This debate, pursuant to Susan Bassnett, gave rise to the 'devaluation of translation (because it was felt that a TT could never reach the heights of a ST and it was always preferable to read the work in the original language) and to its marginalization (translations were to be produced for only a select élite)' (Bassnett 2002: 75 quoted in Munday, 2001: 30).

The study of translation developed into an academic discipline only in the second half of the twentieth century. Modern theories of the field are assembled in a new independent discipline of scholarly study referred to as Translation Studies. The following section will discuss the advent of this subject area.

3 THE NASCENCE OF TRANSLATION STUDIES

Translation studies (TS), as a formal academic discipline in its own right, is only a few decades old. Systematic examination of translation had its roots in the second half of the twentieth century when scholars in Europe began to formulate theories of translation as a separate discipline, instead of being studied as an adjunct to Linguistics or Comparative Literature. The very name of this international and interdisciplinary field came into existence thanks to the publication of James Holmes' landmark paper entitled '*The Name and Nature of Translation Studies*' in 1988 (but presented far earlier in 1972 at the Third International Congress of Applied Linguistics in Copenhagen) (Munday, 2016: 16). This paper, as stated by Edwin Gentzler, is regarded as 'the founding document of the discipline, and certainly in many countries the name and methods have held strong' (2014: 17).

It fundamentally delineated the scope and structure of the new field. The emerging discipline is meant to tackle “the complex of problems clustered round the phenomenon of translating and translations” (Holmes 1988b/2004: 181 quoted in Munday, 2016: 11) at the interlingual and intercultural levels, more importantly. Following Lefevere, the discipline in question “concerns itself with problems raised by the production and description of translations” (Lefevere 1978: 234 quoted in Shuttleworth and Cowie, 1997: 183). Holmes devised a distinct system of classification in relation to the nascent discipline. TS has been divided into two main areas: *pure translation studies* and *applied translation studies*. Pursuant to Holmes, pure translation studies aim at 1) describing the phenomena of translation (**Descriptive Translation Studies**); and (2) developing general principles to explain and predict such phenomena (**Translation theory**). Pure translation studies are then subdivided into **theoretical** and **descriptive**. Conversely, applied translation studies concern themselves with particular practical applications of translation activities including the following subdivisions: 1) **translator training**, 2) **translation aids**, 3) **translation criticism** (Munday, 2016: 16-18). Holmes’ framework of what TS covers is diagrammatically presented as follows:

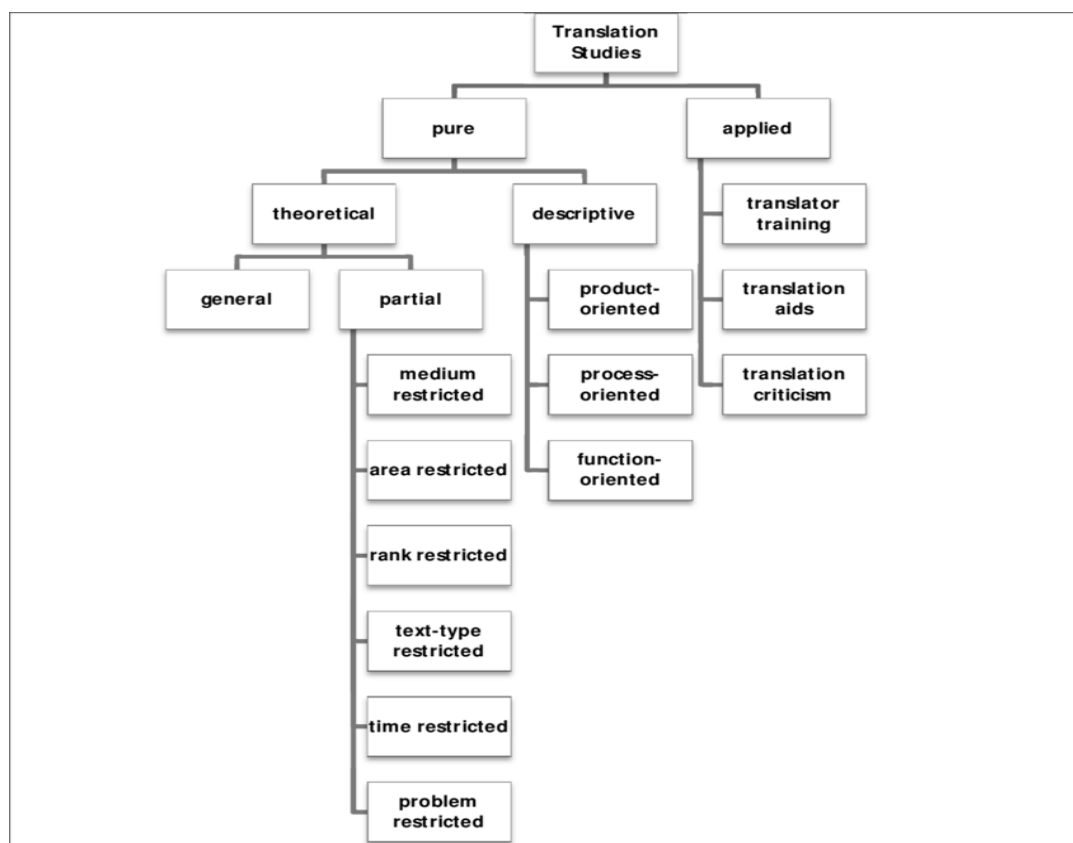


Fig. 1. Holmes’s ‘map’ of translation studies

It is important to point out that many attempts have been made to rewrite and revise Holmes’s mapping of the field of TS paving the way for the emergence of new sub-branches that fall within the discipline in question, namely, Snell-Hornby (1991), Gideon Toury (1995), Anthony Pym (1998) and Amparo Hurtado Albir (2001). Having said that, Holmes’ map of the discipline is still employed, up to the present time, by translation scholars as a valid reference, (Leonardi, 2010: 73).

Prior to Holmes’ proposed framework of TS, there has been a lack of consensus with respect to the label that ought to be utilized to refer to the burgeoning discipline under debate. Eugene Nida (1964: 3) is reported to be one of the forerunners in labelling TS as ‘science of translating’ claiming that ‘the transference of a message from one language to another is...a valid subject of scientific description’. Accordingly, Holmes firmly rejected this label because “it implies that the field belongs with the sciences, which it does not” (Chesterman et al, 2003: 201). It should be pointed out that the aforementioned label has also been employed by scholars of great erudition in the realm of translation, such as John Catford, George Mounin, Werner Koller and Wolfram Wills, to name only a few. These scholars adopted a linguistic-oriented approach to translation, which was strongly criticized for being source-oriented and marginalizing the ‘extra-linguistic factors’ (Leonardi, 2010: 74).

In the early 1970s, another term came to the fore, and was accorded low priority by Holmes. The French word *Traductology*, whose English counterpart was *Translatology* but became broadly dispersed comparatively speaking, was coined by Brian Harris to refer to “the scientific study of translation”. It has been considered as ‘unnecessary neologism’ by a large number of translation theorists, and ‘has – at least in English – been widely replaced by more recent, less scientific-sounding designations such as TRANSLATION STUDIES” (Shuttleworth and Cowie, 1997: 175).

In the late 1970s, there emerged a new term called ‘translation theory’ or ‘the theory of translation’. It has been employed to examine the translation phenomena in a more systematic way. However, the use of this term caused much confusion, and faced a high level of resistance owing to the fact that a number of scholars perceived “this approach as providing guidelines about how translation should be done” (Leonardi, 2010: 74).

After much debate and discussion on the issue of coining a comprehensive standard term that describes the new discipline as an autonomous and full fledged field in its own right, it seems that there is a broad recognition, amongst translation scholars, that Holmes’ suggested name (TRANSLATION STUDIES) is generally accepted without argument (Chesterman et al, 2003: 201). Nowadays, translation studies, as discussed above, is understood as an academic field that focuses on the problems of translation bridging the gap between theory and practice (Leonardi, 2010: 75). Altogether, in Baker’s (2001: 277) words, the new discipline is perceived to concern itself with “the study of translation at large, including literary and non-literary translation, various forms of oral interpreting, as well as DUBBING and SUBTITLING”.

Since its emergence in the early 1970s and during the 1980s, TS is noticed to have grown up considerably in the past few decades. It rapidly developed into an interdisciplinary field that “fostered a research culture where theory and practice would speak to each other and to the outside world” (Boria et al, 2020: 8). That is to say, opening up to and interfacing with theories and paradigms borrowed from other disciplines in a more bi-directional way. This interdisciplinarity, adapted from Hatim and Munday (2004: 8), brings together a plethora of fields such as linguistics, philosophy, literary studies, language engineering and cultural studies.

4 CONCLUSION

Translation is an ancient activity. The need for this cross-linguistic and cross-cultural practice arose when people began to find themselves in need of communicating to one another. As time elapses, translation is noticed to have long been debated by a wide range of scholars and translation theorists before it established itself as a separate and full fledged discipline. The earliest pioneering figures of western translation theory are, undoubtedly, Cicero and Horace followed by St Jerome, who trod a similar path to that already taken by the Roman commentators. Their approaches to translation strongly advocated sense-for-sense and disparaged word-for-word to a large extent. An important chapter of translation in the western world was marked out with the Bible translations. Martin Luther, one of the dominant figures in the realm of translation, played a pivotal role in the Reformation. He pointed out the important relationship between style and meaning, and similarly relegated literalism to a lower position, more significantly. The seventeenth century was marked by the formulation of the first systematic translation theories. John Dryden, the leading figure of that era, approached translation issues by establishing three basic types: metaphrase, paraphrase and imitation, which were to exert great influence on the succeeding generations’ writings. The translator’s moral duty (Faithfulness/Fidelity) towards the author’s original work and the readership was the focal point of the eighteenth century. The nineteenth century knew the birth of Schleiermacher who suggested the creation of a separate sublanguage that goes in line with the form and language of the original in relation to the translation of literary and philosophical works. The nascence of translation, as an academic discipline, took its main substance from the famous seminal work of James Holmes in the second half of the twentieth century. From that time on, TS is observed to develop into an interdisciplinary field intersecting with a myriad of theories and approaches from other disciplines up to the present time.

REFERENCES

- [1] M. Baker, Routledge Encyclopedia of Translation Studies, first paperback edition. Routledge, 2001.
- [2] S. Bassenett, Translation Studies, 3rd Ed. Routledge, 2002.
- [3] M. Boria, A. Carreres, M. Noriega-Sánchez. & Tomalin.M, Translation And Multimodality Beyond Words. Routledge, 2020.
- [4] A. Chesterman, H.V Dam, J. Engberg & A. Schjoldager, "On Names and Definitions in Translation Studies". Journal of Linguistics, no. 31, pp. 197-209, 2003.
- [5] E. Gentzler, 'Translation Studies: Pre-Discipline, Discipline, Interdiscipline, and Post-Disciplin". International Journal of Society, Culture and Language, vol. 2, no.2, pp. 13-24, 2014.
- [6] B. Hatim & J. Munday, Translation: An Advanced Resource Book. Routledge, 2004.
- [7] V. Leonardi, The Role of Pedagogical Translation in Second Language Acquisition. Peter Lang. 2010.
- [8] K. Malmkjær & K. Windle. The Oxford Handbook of Translation Studies. University Press, 2011.
- [9] J. Munday, Introducing Translation Studies Theories and Applications 2nd Ed. Routledge, 2001.
- [10] J. Munday, Introducing Translation Studies Theories and Applications 4th Ed. Routledge, 2016.
- [11] E. Nida. E, Towards a Science of Translating: With Special Reference to Principles and Procedures Involved in Bible Translating. E.J. Brill, 1964.
- [12] M. Shuttleworth & M. Cowie, Dictionary of Translation Studies. St Jerome, 1997.

Caractérisation des interactions nappe/rivière à partir du réseau hydrographique et du réseau de fractures du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire)

[Characterization of groundwater/river interactions based on the hydrographic network and the fracture network: Application to the Lobo watershed in Nibéhibé (Centre-West, Côte d'Ivoire)]

Gningnéri Souleymane Ouattara¹, Brou Dibi¹, Parfait Abé Sombo², and Oi Mangoua Jules Mangoua¹

¹Department des Sciences de la terre, Université Jean Lorougnon Guédé, Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, Daloa, Côte d'Ivoire

²Department des Sciences de la terre, Université Jean Lorougnon Guédé, Laboratoire de Géologie Appliquée, Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 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 people living along the Lobo catchment area in Nibéhibé are experiencing difficulties in supplying drinking water due to the impacts of climate variability and the anthropic pressures on the surface water used. The objective of this study is to characterise the groundwater-river interactions based on the major fracturing and the hydrographic network. The hydrographic network and the major fracturing map were used as data for the different treatments. Also, the hierarchy of the hydrographic network using the Strahler method highlighted the rivers of order 1 to 5. Frequency curves of the number of drains and cumulative lengths according to Strahler's orders were constructed and then interpreted using the «law of rivers» to detect drains with a structural origin. The distribution of drains in the river system follows the exponential law with a good correlation coefficient ($R^2 = 0.97$). Moreover, the coupling of the map of watercourses of structural origin and the map of major fractures has made it possible to highlight potential areas of groundwater-river exchange. These zones represent the intersection of permanent watercourses and areas of very high fracture density.

KEYWORDS: Interaction, water table-river, fracturing, hydrographic networks, Lobo catchment area in Nibéhibé.

RESUME: Les populations riveraines du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé connaissent des difficultés d'approvisionnement en eau potable du fait des impacts de la variabilité climatique et des pressions anthropiques que subissent les eaux de surfaces utilisées. L'objectif de cette étude est de caractériser les interactions nappe-rivière à partir de la fracturation majeure et du réseau hydrographique. Le réseau hydrographique et la carte de fracturation majeure ont servi de données aux différents traitements. Aussi, la hiérarchisation du réseau hydrographique par la méthode de Strahler a mis en évidence les cours d'eau d'ordre 1 à 5. Les courbes de fréquence du nombre des drains et des longueurs cumulées en fonction des ordres de Strahler ont été construites puis interprétées à l'aide de la «loi des rivières» pour détecter les drains ayant une origine structurale. La distribution des drains du réseau hydrographique obéit à la loi exponentielle avec un bon coefficient de corrélation ($R^2 = 0,97$). Par ailleurs, le couplage de la carte des cours d'eau d'origine structurale et la carte des fractures majeures a permis de mettre en évidence des potentielles zones d'échanges nappe-rivière. Ces zones représentent l'intersection des cours d'eau permanents et les zones de très forte densité de fracturation.

MOTS-CLEFS: Interaction, nappe-rivière, fracturation, réseaux hydrographiques, bassin versant de la Lobo à Nibéhibé.

1 INTRODUCTION

L'approvisionnement en eau potable constitue ces dernières années une préoccupation essentielles pour les populations riveraines. Dans les environs des principales villes africaines et singulièrement dans celles de la Côte d'Ivoire, les retenues et les cours d'eau sont constamment sollicités pour fournir cette ressource en eau potable à une population sans cesse croissante [1]. Toutefois, ces eaux de surface sont généralement sujettes aux pollutions de tout genre et à la variabilité climatique. Face à cette situation, les eaux souterraines apparaissent comme une opportunité car se présentent généralement comme une excellente source d'approvisionnement en eau potable du fait du filtre naturel constitué par les matériaux géologiques [2]. Elles pourraient cependant subir l'influence des eaux de surface. En effet, selon les travaux de [3], les bras des cours d'eau coulent souvent dans une fracture donnant ainsi une assez bonne similitude entre le réseau hydrographique et le réseau de linéaments issu du traitement des images satellitaires. De plus les principaux fleuves s'installent le plus souvent dans les grandes fractures du socle précambrien. Ainsi, une mauvaise qualité de ces eaux de surface pourrait manifestement affecter les eaux souterraines à cause des interactions eaux de surface contenues dans les lacs, rivières et fleuves avec les eaux souterraines dans un sens ou dans l'autre [4]. La connaissance des zones potentielles d'échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines s'avère nécessaire pour comprendre le degré d'interconnexion des deux hydrosystèmes (eau de surface et eau souterraine). Au niveau du bassin versant de la Lobo, site de cette étude, les zones potentielles d'échanges nappe-rivière pourraient constituer des sources d'alimentation de la rivière dont la retenue reste très sollicitée pour l'alimentation de la commune en eau potable. Aussi, ces zones peuvent contribuer à recharger les nappes d'eau souterraine, principales sources d'alimentation en eau pour les populations majoritairement rurales [5]. La compréhension d'un tel phénomène nécessite l'étude des relations nappe-rivière qu'il convient de caractériser surtout à travers les réseaux de fractures et le réseau hydrographique.

La présente étude a pour objectif de mettre en évidence les éventuelles relations entre le réseau hydrographique et les fractures majeures du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé. Il s'agit de montrer, à partir de l'analyse de données spatiales des SIG, les potentielles zones d'échanges de masse d'eau entre la fracturation et le réseau hydrographique.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le bassin versant de la rivière Lobo à Nibéhibé (Figure 1) est situé au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire entre 6°15' et 6°55' de longitude Ouest et entre 6°45' et 7°55' de latitude Nord avec une superficie d'environ 7000 Km². Elle prend sa source à 400 m d'altitude au sud de Séguéla [6]. Le climat est de type tropical humide de transition. Il est caractérisé par une saison sèche allant d'octobre à mars et une saison des pluies ayant deux maximas, l'un en juin et l'autre en septembre. Les saisons sèches et humides alternent avec des températures variant de 24,65 °C à 27,75 °C en moyenne [7].

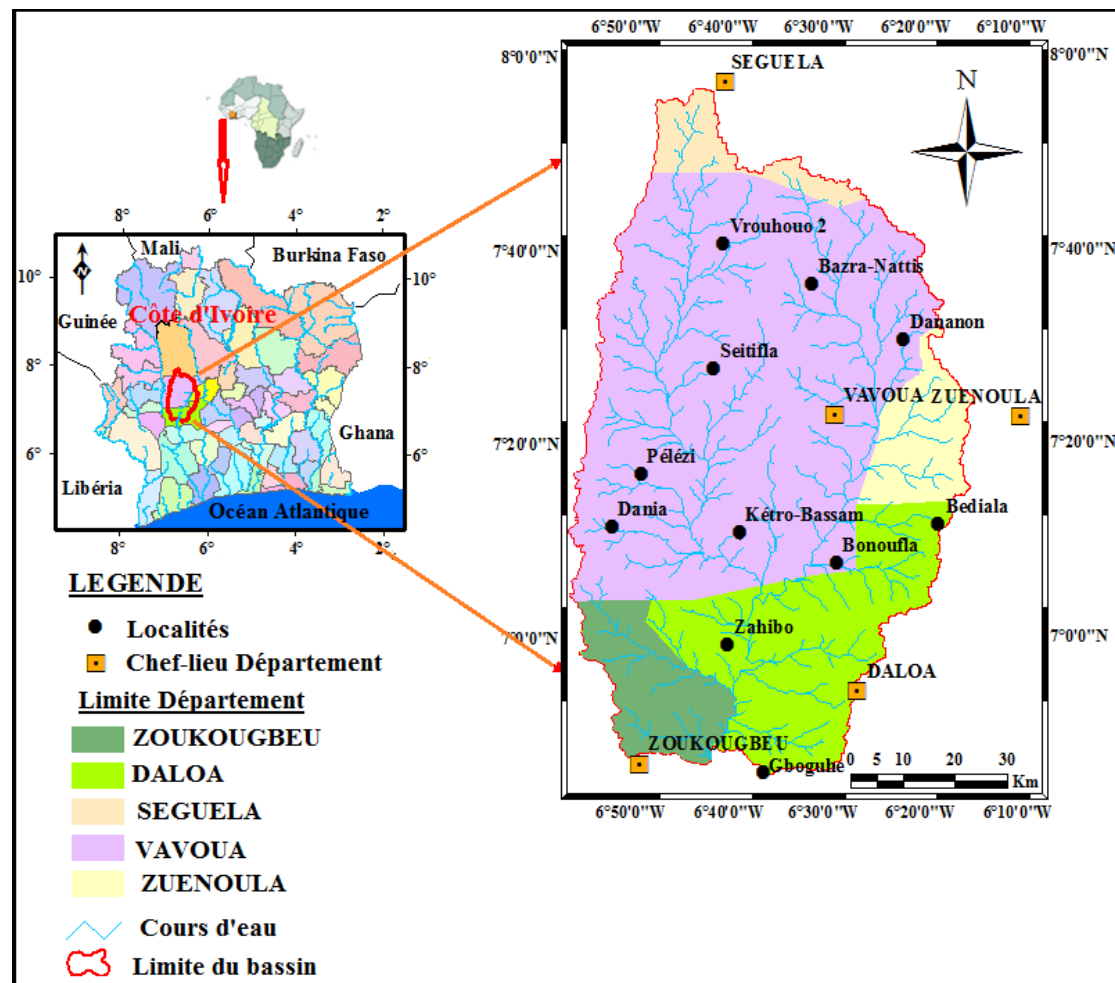


Fig. 1. Situation géographique du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé

2.2 MATÉRIEL

Le matériel utilisé est composé d'une image de Modèle Numérique Topographique (MNT) utilisé pour extraire le réseau hydrographique avec ArcGIS 10.4.1. Les images radar sentinel 1A utilisées pour extraire les linéaments à l'aide du logiciel SNAP 7.0. Le logiciel Linwin 2.0 a été utilisé pour élaborer les rosaces directionnelles et Excel pour les traitements statistiques et graphiques.

2.3 MÉTHODES

2.3.1 ELABORATION DE LA CARTE DE FRACTURATION MAJEURE DU BASSIN VERSANT DE LA LOBO

Cette carte a été réalisée à partir des images radar sentinel 1A. Ces images ont subi différents traitements dont la calibration radiométrique de l'image brute, le géoréférencement et le filtrage à l'aide des filtres de Lee [8], Frost [9] et Gamma [10]. Cette image a été importée dans Arcgis 10.4.1 pour l'extraction des linéaments. De ces linéaments totaux, les linéaments majeurs dont les longueurs est supérieure ou égale 9 kilomètres (Km) ont été extraits.

2.3.2 CRÉATION DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

Le réseau hydrographique est généré à partir d'un MNT à partir de plusieurs traitements. Il faut déterminer les directions des écoulements, leur concentration dans les talwegs, définir la taille minimale du bassin versant et du tronçon hydrographique souhaitée. Plusieurs méthodes sont possibles. Dans cette étude, notre choix s'est porté sur la méthode déterministe 8 (D8) [11], qui est une méthode couramment utilisée grâce à sa capacité à représenter plus fidèlement le réseau hydrographique.

2.3.3 IDENTIFICATION DES DRAINS AYANT UNE ORIGINE STRUCTURALE

La classification des cours d'eau par la méthode de [12] permet de constituer une série de données statistiques que sont le nombre et les longueurs cumulés. A partir de ces données statistiques, on procède à la construction de deux courbes dont la première utilise le nombre de drains en fonction des ordres et la seconde concerne la longueur cumulée des drains en fonctions des ordres. Les courbes obtenues sont analysées et interprétées selon la loi des rivières [13] afin de déterminer les drains dont la mise en place est dictée par les structures géologiques que sont les fractures. En effet, les cours d'eau liés aux structures géologiques sont marquées par une stabilisation de la courbe parabolique et ceux liés à la topographie sont marqués par une décroissance brutale de la courbe.

2.3.4 DÉTERMINATION DES ZONES POTENTIELLES D'ÉCHANGES DE MASSE D'EAU ENTRE LA RIVIÈRE ET LA NAPPE

Afin de mieux observer la distribution spatiale de la densité de fracturation suivant le nombre de fracture par unité de surface, il est primordial de construire la carte d'isovaleur de la densité en nombre cumulée des fractures par unité de surface. Une analyse globale de cette carte permet de connaître le degré de fracturation de la zone d'étude. La carte du réseau hydrographique est, par la suite, superposée à celle de densité de fracturation afin d'identifier les zones susceptibles de présenter de forts échanges entre les eaux souterraines et les eaux de surface. En effet, les cours d'eau observés dans les zones de forte densité de fracturation sont supposés avoir des échanges avec les fractures [14].

3 RESULTATS

3.1 CARTE DE FRACTURATION MAJEURE DU BASSIN VERSANT DE LA LOBO À NIBÉHIBÉ

Le recours aux images radar sentinel 1A après filtrage a conduit à différents résultats. Ces images ont permis de relever 1130 linéaments (Figure 2a) avec des longueurs allant de 0,08 à 82 km. De ces linéaments totaux, 121 fractures majeures (Figure 2b) ont été extraits. La rosace directionnelle avec un intervalle de 10° présente en fonction du nombre deux directions majeures (Proportion supérieure ou égale à 10%) N-S et E-O (Figure 2c). Le recours aux images radar sentinel 1A après filtrage a conduit à différents résultats. Ces images ont permis de relever 1130 linéaments (Figure 2a) avec des longueurs allant de 0,08 à 82 km. De ces linéaments détaillés, 121 fractures majeures (Figure 2b) ont été extraits. La rosace directionnelle (Figures 2c) avec un intervalle de 10° associée au réseau de linéaments détaillés révèle deux orientations majeures N0-10 (14%) et N90-100 (12%) qui correspondent respectivement aux directions N-S et E-O. Les orientations secondaires sont les classes N70-80 (7%), N100-110 (7%), N150-160 (7%). Dans la région, on note également la présence des linéaments d'orientation N 60-70, N 110-120 et N 160-170. Ils présentent des fréquences en nombre et en longueur cumulée de 6%, ils sont minoritaires. Quant à la rosace directionnelle des fractures majeures (Figure 2c), celle-ci présente également deux directions majeures dont la direction N-S et NO-SE. Ce réseau de fracture indique une chenalisation des écoulements souterrains suivant les différentes orientations. Ces écoulements en eau souterraine, sont pour la plupart imposés par les grands couloirs de fractures selon qu'elles soient ouvertes ou semi-ouvertes.

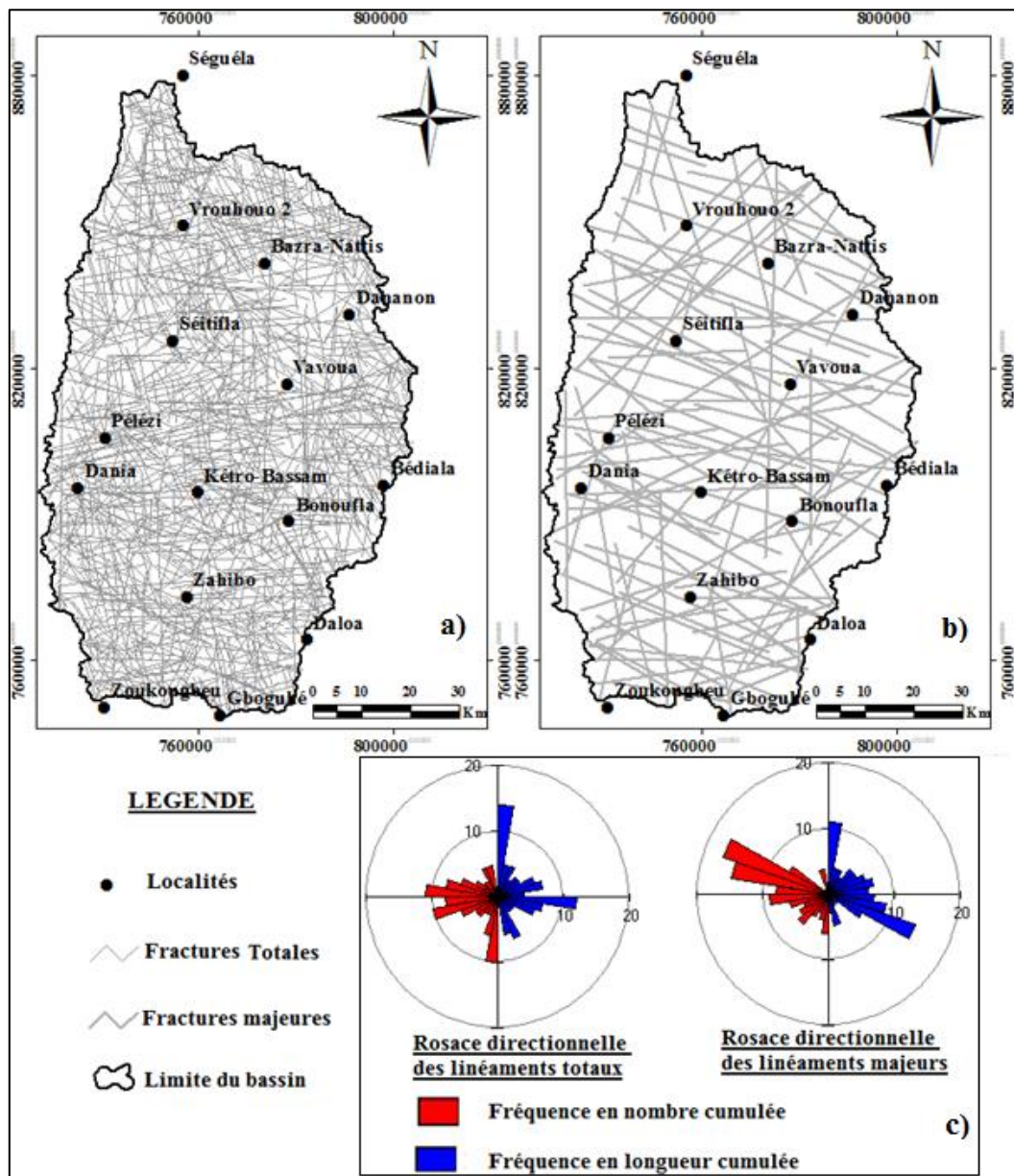


Fig. 2. Cartes linéamentaires du bassin versant de la rivière Lobo à Nibéhibé

3.2 HIÉRARCHISATION DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

La hiérarchisation du réseau hydrographique selon la méthode de Strahler accorde une importance particulière aux interconnexions des drains. Elle a permis de mettre en exergue les différents ordres des cours d'eau qui varient de 1 à 5 (Figure 3). Les cours d'eau d'ordre 1 et 2 représentent respectivement 46% et 24% de l'effectif total des cours d'eau du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé. Cette situation témoigne de la contribution des petits cours d'eau dans le drainage du bassin. Aux drains qui constituent des sources à l'échelle de l'image satellitaire, l'ordre 1 fut affecté. Les drains qui résultent de l'interconnexion de deux drains d'ordre 1, l'ordre 2. Ainsi, l'ordre 3 fut-il attribué aux drains résultants de l'interconnexion entre deux drains d'ordre 2. La même démarche fut appliquée jusqu'à l'obtention du plus grand ordre possible (ordre 5). L'interprétation des courbes s'est appuyée sur les modèles définis par la « loi des rivières ».

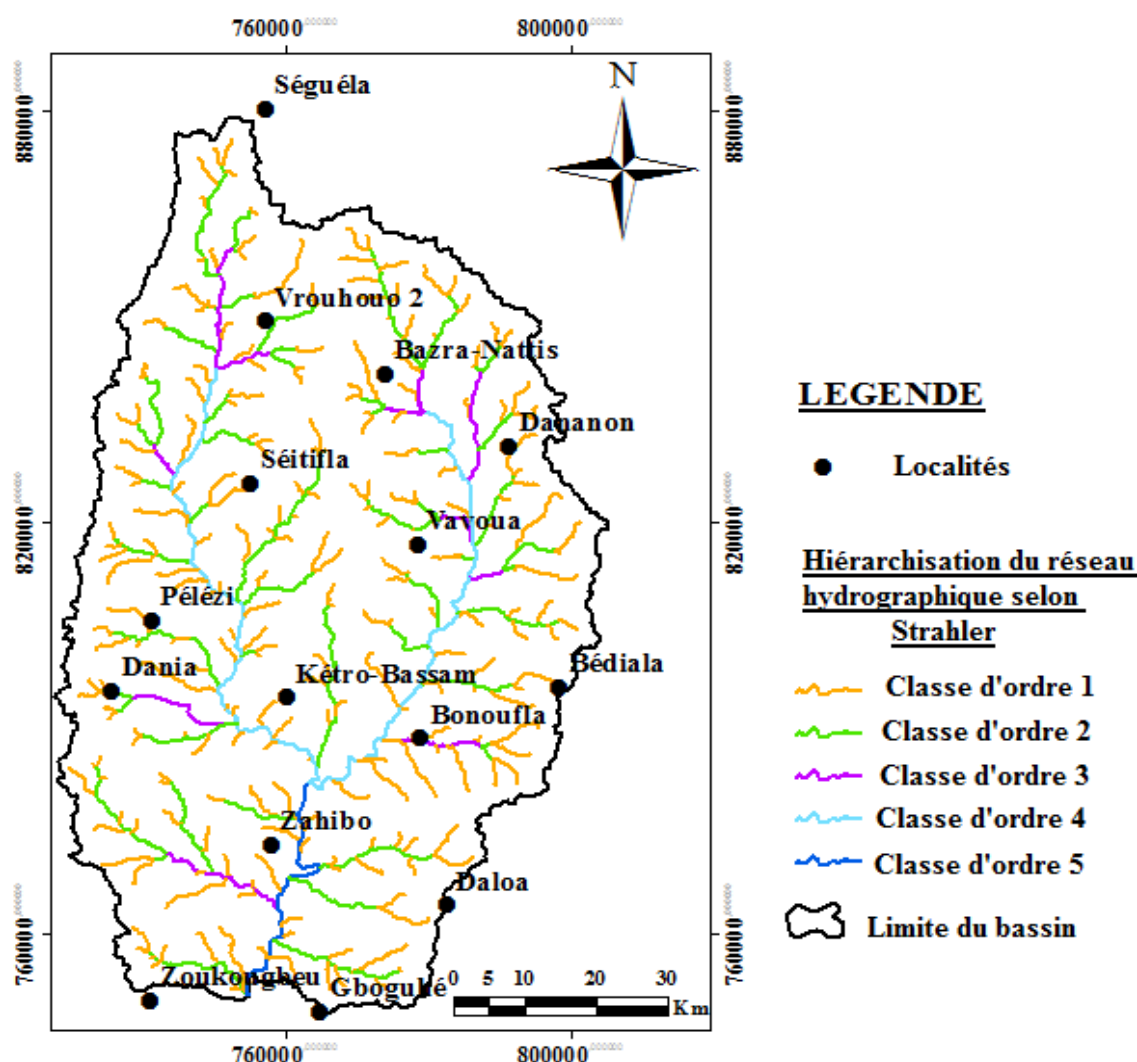


Fig. 3. Classification des cours d'eau

3.3 IDENTIFICATION DES DRAINS STRUCTURAUX

La relation qui lie l'effectif des drains à l'ordre des cours d'eau de la zone de socle est illustrée à la Figure 4. La courbe du nombre des drains et de la longueur des drains en fonction des ordres a une allure parabolique à décroissance exponentielle tendant vers une asymptote horizontale, avec des coefficients de corrélation proches de 1 ($R^2 = 0,969$). En effet, de l'ordre 1 à l'ordre 3, la courbe décroît très rapidement selon deux types de pentes fortes. La pente est abrupte de l'ordre 1 à l'ordre 2. Ensuite, elle est moins raide entre l'ordre 2 et l'ordre 3. Ces résultats indiquent que les cours d'eau d'ordre 1, 2 et 3 sont mis en place par le relief. En effet, au fur et à mesure que les connections deviennent importantes, ces cours d'eau acquièrent une énergie leur permettant de modeler le relief par le biais de l'érosion. Les courbes se stabilisent à partir des ordres 4 et 5, cela signifie que les cours d'eau d'ordre 4 et 5 ont une énergie forte et un important volume qui leur permet d'emprunter les zones de moindres résistances que sont les éléments des structures géologiques et des discontinuités hydrogéologiques que sont les fractures. On note, enfin, que les cours d'eau qui sont directement liés aux structures géologiques et aux discontinuités hydrogéologiques sont les cours d'eau d'ordre 4 et 5 (Figure 4). Le drain d'ordre 4 à l'Ouest combiné au drain d'ordre 5 constituent la rivière Lobo dont l'exutoire est à Nibéhibé (Figure 5). Quant au drain d'ordre 4 à l'Est, il constitue la rivière Dé. Ces drains peuvent donc être connectés aux aquifères fissurés de socle de la zone d'étude.

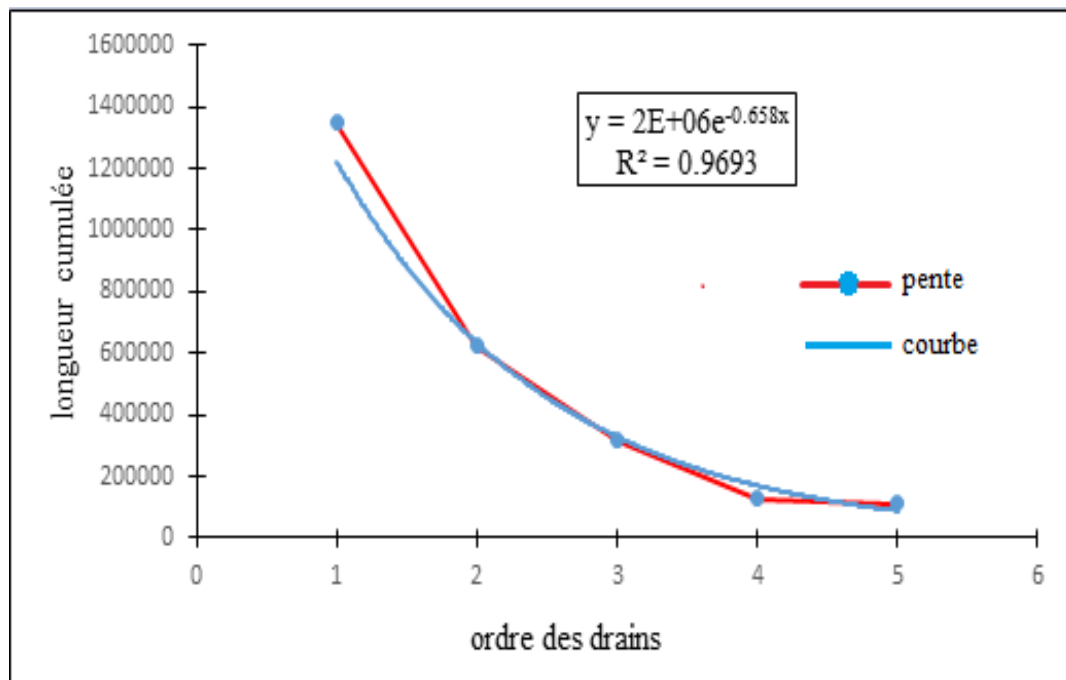


Fig. 4. Courbe des longueurs cumulées des drains en fonction des ordres

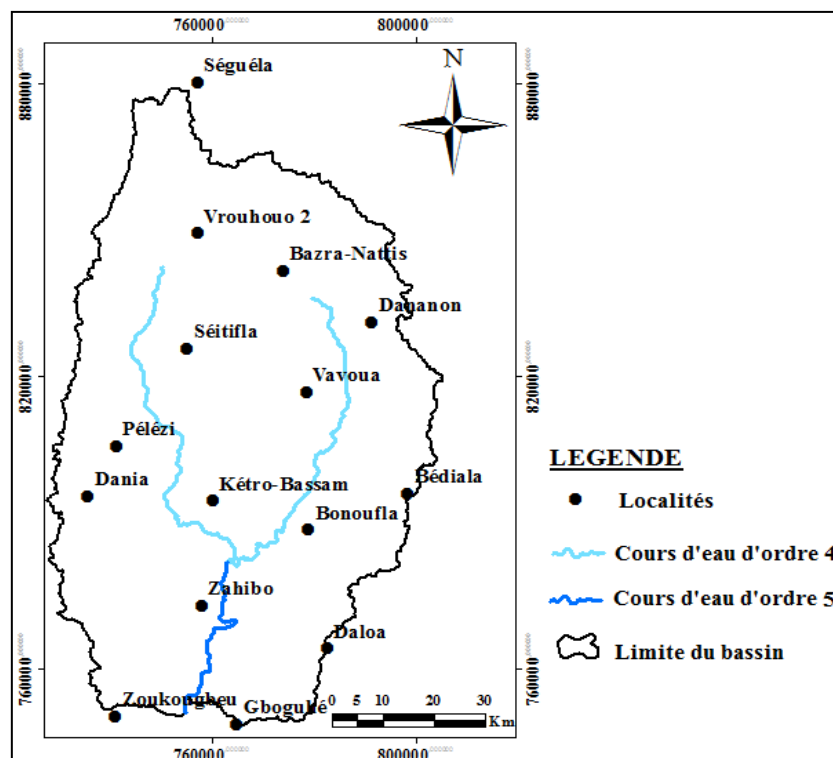


Fig. 5. Carte des cours d'eau ayant une origine structurale

3.4 DÉTERMINATION DES ZONES POTENTIELLES D'ÉCHANGES DE MASSE D'EAU ENTRE LA NAPPE ET LA RIVIÈRE

Le réseau hydrographique d'origine structurale (drains d'ordre 4 et 5) obtenu par l'application de la « loi des rivières » a été superposé aux fractures de grande conductivité (fractures majeures) pour évaluer leur degré d'interconnexion. Cette évaluation nécessite la mise en relation d'une carte de densité de fracturation obtenue à partir des fractures majeures avec

les drains d'ordre 4 et 5 (Figure 6). La carte d'isovaleurs de distribution de la densité de fracturation montre une hétérogénéité de la densité de fracturation sur tout le bassin. Une analyse globale de cette carte permet de dire que le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé est fortement fracturé, donc propice à des échanges de masse d'eau entre les deux hydrosystèmes (aquifères et rivières). La superposition de la rivière Lobo (combinaison du drain d'ordre 4 à l'Ouest et du drain d'ordre 5) ainsi que de la rivière Dé (drain d'ordre 4 à l'Est) à la carte de densité de fracturation montre que ces deux cours d'eau coïncident avec les zones de forte et très forte fracturation. Cette superposition nous a permis d'identifier 6 zones potentielles d'échanges nappe-rivière. Au niveau de la rivière Dé, trois (3) secteurs sont identifiés dont le secteur situé au Sud-Ouest de Bonoufla, les secteurs situés au Nord-Est et au Sud-Est de Vavoua. Par contre, au niveau de la rivière Lobo, quatre (4) secteurs sont identifiés dont les secteurs situés à l'Ouest de Séitifla, à l'Est de Pélézi et Dania, au Sud de Ketro Bassam et à l'Est de de Zahibo tout au long de la confluence. IL ressort de cette étude que les rivières Lobo et Dé s'écoulent essentiellement sur des zones de forte et très forte densité de fracturation qui constituent les zones potentielles d'échanges nappe-rivière.

. Ces résultats sont confirmés par des visites de terrain en période de basses eaux et en période de hautes eaux. Il a été observé qu'en période de basses eaux, la rivière Lobo maintient un débit minimal d'écoulement d'amont en aval sans interruption aucune. Quant à la rivière Dé, celle-ci maintient un débit minimal d'écoulement d'amont en aval avec quelques interruptions par endroit surtout en période d'étiage.

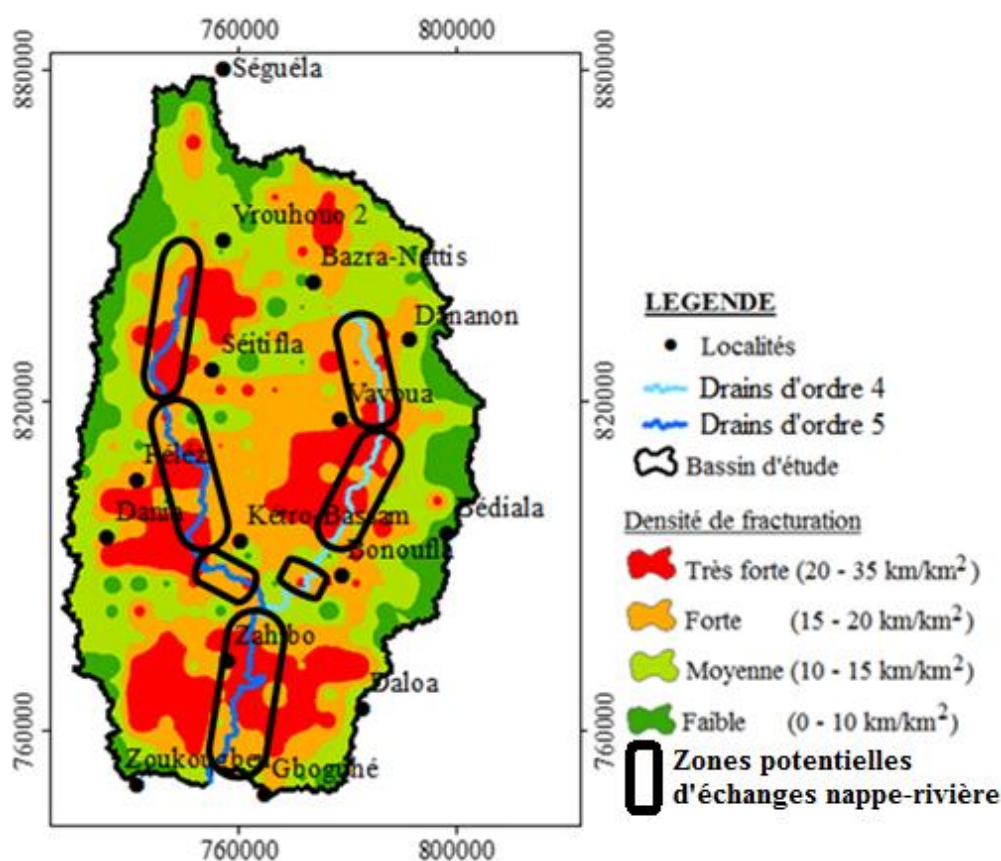


Fig. 6. Superposition des drains d'origine structurale à la carte de densité de fracturation

4 DISCUSSION

Le nombre de fractures majeures relevées dans cette étude à partir des images Radar Sentinel 1A sont au nombre de 121, il semble élevé comparativement aux travaux [6] qui ont mis en évidence 59 fractures majeures à partir des images ETM+ Landsat 7 sur la même zone d'étude. En effet, le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé regorge d'importantes ressources en eau souterraine [15] qui témoignent bien de l'existence des fractures dans le bassin. La différence des résultats obtenus dans les deux études est certainement liée aux types d'images. En effet, les images radar sentinel sont bien adaptées au milieu tropical, celles utilisées dans cette étude ont une résolution de 10 m permettant une bonne visibilité. De plus, ces images peuvent s'affranchir de la couverture végétale et peuvent pénétrer la couche pédologique. Par conséquent, elles sont bien adaptées

pour mettre en évidence les linéaments qui pourraient passer inaperçue avec les images ETM+ Landsat 7 [16]. Les résultats obtenus avec l'approche hydrographique ont mis en évidence l'existence des drains d'origines structurales (drain 4 et 5). Ces résultats sont en accord avec les travaux de [14] qui ont montré l'influence de la fracturation sur les drains de grands ordres (3, 4, 5 et 6) du bassin versant de l'Agneby. Selon [12], le réseau hydrographique constitue jusqu'à un certain ordre, les empreintes de la fracturation. La carte de densité de fracturation montre que le bassin versant de la Lobo à Nibéhibé est fortement fracturé avec les classes moyennes, fortes et très fortes fracturations représentées par 88%. Ces résultats sont quasi-identiques à ceux obtenus par [6] qui est de 90%. En utilisant l'hypothèse que les linéaments correspondent à des structures cassantes dans le socle rocheux, l'intersection apporte de l'information importante. Une plus forte intersection de linéaments et une plus forte densité indiquent donc des endroits où l'eau souterraine pourrait circuler davantage [17].

Ces réservoirs de fissures seraient situés dans des substratums à couloirs mylonitiques où les structures conductrices sont bien développées [18]. Ces zones pourraient constituer des zones cibles dans la recherche d'eau souterraine. En outre, le suivi optimisé de la relation eau de surface - eau souterraine dans le cadre des applications environnementales (transfert de polluant, gestion de l'eau, gestion des zones humides, etc.) peut être effectué aux endroits où le cours d'eau coïncide avec zones de très forte densité de fracturation.

5 CONCLUSION

Dans cette étude, la superposition de la carte de la distribution de la densité de fracturation à celle du réseau hydrographique du bassin a mis en évidence une relation entre la rivière Lobo, les structures géologiques et les discontinuités hydrogéologiques du bassin versant de la Lobo à Nibéhibé. Le réseau hydrographique du bassin a un ordre qui varie entre 1 et 5. Les cours d'eau d'ordre 4 et 5 caractérisent les cours d'eau permanents, concernant les ordres 1 et 3, ils caractérisent les petits cours d'eau ou tête de bassin. Le bassin versant héberge de nombreuses fractures parmi lesquelles on dénombre 121 majeurs. De l'analyse du couplage de la carte de densité de fracturation et du réseau hydrographique, il ressort que les cours d'eau d'ordre 4 et 5 sont sous contrôle structural tandis que les cours d'eau d'ordre 1 à 3 sont mis en place par le relief. La détermination des zones potentielles d'échanges de masse d'eau entre la nappe et la rivière montre que les deux principaux affluents de la Lobo qui sont la Dé et la Lobo coïncident avec les zones de très forte fracturation. Cette étude montre le rôle fondamental des fractures dans la mise en place du réseau hydrographique. Elle peut être considérée comme un bon révélateur des relations qui existent entre les eaux de surface et les eaux souterraines ou entre la nappe phréatique et les aquifères sous-jacents. En perspective, cette caractérisation des relations nappe-rivière pourrait permettre de comprendre l'origine probable des eaux souterraines.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent au Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement (LSTE) pour le soutien apporté au cours de la réalisation de cette étude. Nous remercions aussi l'Université Jean Lorougnon GUÉDE de Daloa pour leur contribution dans la réalisation de cette étude.

REFERENCES

- [1] A. Koudou, B. Adiaffi, T. V. Assoma, A. P. Sombo, E. M. E Amani, J. Biémi, "Conception d'un outil d'aide à la décision pour la prospection des eaux souterraines en zone de socle du Sud-Est de la Côte d'Ivoire", *Revue internationale de géologie, de géographie et d'écologie tropicale*, vol 37, pp. 211-226, 2013.
- [2] M-L Tremblay, D. W. Roy, P. A. Cousineau, 2006. Paramètres influençant les propriétés hydrogéologiques d'un aquifère. Section 3 dans Outils de détermination d'aires d'alimentation et de protection de captages d'eau souterraine. Rasmussen, H., Rouleau, A. et Chevalier, S. (éditeurs scientifiques). 43 pages. Document diffusé par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/alim-protec/index.htm> (2006).
- [3] Y. H. Tie, M. Ouedraogo, K. L. Kouassi, K. Bamory, B. Yao et J. Biémi, "Géomorphologie et productivité des forages dans le nord du bassin du fleuve Comoé en Côte d'Ivoire", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 8, n°. 2, pp. 755-765, 2014.
- [4] J. F. Vernoux, J. Lions, E. Petelet-Giraud, J. J. Seguin, P. Stollsteiner et E. Lalot, "Contribution à la caractérisation des relations entre eau souterraine, eau de surface et écosystèmes terrestres associés en lien avec la DCE", rapport BRGM/RP-57044-FR, p. 207, 2010.

- [5] O. A. Adjiri, B. Koné, N. Aka, I. Djabagaté et B. Dibi, "Caractérisation physico-chimique et source de la minéralisation des eaux souterraines des départements de Daloa, Zoukougbeu, Côte D'Ivoire", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 13, n°. 4, pp. 2388-2401, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i4.40>.
- [6] A. B. Yao, Evaluation des potentialités en eau du bassin versant de la Lobo en vue d'une gestion rationnelle (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse De Doctorat, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, p. 323, 2015.
- [7] R. Ligban, D. L. Gone, B. Kamagate, M. B. Saley et J. Biemi, "Processus hydrogéochimiques et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol.3, n°.1, pp. 38-47, 2009. DOI: 10.4314/ijbcs. v3i1.42733.
- [8] J. S. Lee, "Speckle analysis and smoothing of synthetic aperture radar images", *Computer Graphics and Image Processing*, vol. 17, n°1, pp. 24–32, 1981. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0146-664X\(81\)80005-6](https://doi.org/10.1016/S0146-664X(81)80005-6).
- [9] V. S. Frost, J. A. Stiles, K. S. Shanmugan, J. C. Holtzman, "A Model for Radar Images and Its Application to Adaptive Digital Filtering of Multiplicative Noise", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 4, n°. 2, pp. 157–166, 1982. DOI: 10.1109/tpami.1982.4767223.
- [10] A. Lopes, R. Touzi, E. Nezry, "Adaptive speckle filters and scene heterogeneity", *Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 28, n°6, pp. 992–1000, 1990. DOI: 10.1109/36.62623.
- [11] J. F. O'Callaghan, D. M. Mark, "The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data", *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, vol. 28, pp. 328–344, 1984. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0734-189X\(84\)80011-0](https://doi.org/10.1016/S0734-189X(84)80011-0).
- [12] A. N. Strahler. Quantitative geomorphology. « Encyclopedia of Geomorphology In: Fairbridge, R.W. (eds), The Encyclopedia of Geomorphology, Reinhold Book Crop, New York, 1968.
- [13] R. E. Horton, "Erosional development of streams and their drainage bassin: hydrological approach to quantitative morphology", *Bulletin of the Geological society of America*, vol. 56, pp. 275–370, 1945. DOI: <https://doi.org/10.1177/030913339501900406>.
- [14] A. Koudou, B. Adiaffi, T. Assoma, B. Kouadio, E. A. Assi et D. Z. Lasme, "Contribution des données multi-sources à la connaissance du réseau hydrographique du bassin versant du N'Zi (Centre de la Côte d'Ivoire)", *European Journal of Applied Remote Sensing*, vol. 54, n°. 2, pp. 33–45, 2018.
- [15] A. B. Yao, B. T. A. Goula, A. Kane, O. M. J. Mangoua et K. A. Kouassi, "Cartographie du potentiel en eau souterraine du bassin versant de la Lobo (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire) : approche par analyse multicritère", *Hydrological Sciences Journal*, vol. 32, pp. 1–12, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.932360>.
- [16] R. Desjardins, S. Iris, D. W. Roy, G. H. Lemieux et T. Toutin, "Efficacité des données de RADARSAT-1 dans la reconnaissance des linéaments : un bilan", *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 26, n°6, pp. 537–548, 2000. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/07038992.2000.10874794>.
- [17] G. T. Lalèyè, E. W. Vissin, C. S. Houssou et P. Edorh, "Relation eau de ruissellement et eau des sources et forages artésiens dans la région Zagnanado-Zogbodomey au Bénin: Approche couplée (pollution microbiologique – télédétection)", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 8, n°. 6, pp. 2786-2803, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i6.36>.
- [18] B. Kamagaté, D. L. Goné, I. Doumouya, I. Ouattara, M. Ouédraogo, A. Bamba et I. Savané, "Relation nappe-rivière dans le bassin versant du Bandama en milieu de socle fissuré en Côte d'Ivoire", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 5, n°. 1, pp. 206-216, 2011. DOI: 10.4314/ijbcs.v5i1.68099.

Job analysis: Characteristics and challenges of the process within an organizational structure

Moundjiegout Tessa, Mabika Landry Fabrice, and Maganga Bignoumba Rose de Lima

Psychology Department, University Omar Bongo, Libreville, Gabon

Copyright © 2021 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 paper focuses on the presentation of the challenges of the job analysis process within an organizational structure. This is to show that the job analysis also allows this organizational structure to rationally collect information on the responsibilities of their job holders, the tasks and activities that he must perform in order to fulfill his responsibilities. In other words, a job description is necessary, in order to recruit effectively or to assess the performance of an employee. As part of a research-action approach, we carried out an analysis of the positions within this company, and we will present the job analysis of the computer system manager position and the analysis of this case study, in order to verify our working hypotheses.

KEYWORDS: Analysis process, job analysis, the challenges of the job analysis process.

1 INTRODUCTION

Specialists in organizational behavior and human resources have come to the conclusion that, the job analysis is based on the definition of the job's missions as well as the skills, the requirements and responsibilities that must be present. This activity is both a tool for human resources management and above all an organization par excellence. It makes it possible to understand what the organizational structure is made up of in terms of positions, to allocate tasks equitably among different members and to better understand how the organization works. In this perspective, any organization sets up strategies allowing it to ensure its sustainability, its development and success, which are based on the quantitative and qualitative adequacy of these human resources. She sees herself for this purpose, compelled to have staff with the necessary skills to meet its needs and objectives. Any organizational structure in its quest to develop a job benchmark, identifies jobs and skills and then draws up action plans in terms of recruitment, training, remuneration, etc. This approach must obey two major concerns: determine the job profile and describe the necessary skills and their requirements.

Job analysis is a human resource management tool that allows you to carry out all of the activities mentioned above. The accomplishment of this task is done using several methods and requires the intervention of different actors within the structure. The process consists in describing the tasks included in the position, the skills, the knowledge, the capacities and responsibilities to perform one's job well, the means and tools used to achieve the objectives set, as well as the requirements and the difficulties that arise therefrom. Job analysis also contributes to the development and implementation of appropriate human resource practices. It provides employees with the possibility of orienting their professional development and thus being involved in their professional career. Finally, it mainly responds to organizational concerns related to the objectives of job evaluation and clarification of labor relations. Thus, managers practice job analysis within their organization; Hence the interest in taking a look at its approach, its objectives and its importance for the company. The questions can guide the framework of our study; why does an organizational structure perform job analysis? What can the actors involved in this operation be? What are the main steps to follow to complete a job analysis in a company?

2 THE FUNDAMENTAL ELEMENTS OF JOB ANALYSIS

A job analysis provides information in order to make us understand and allow us to determine the specificity of a job. We will be part of the understanding of job analysis, then discover the contribution that exists between job analysis and the different human resources practices, in order to better understand the process. This is thanks to Taylor (1920) on the basis of works focusing on times and movements, developed in his book that created the analysis of jobs or positions at the beginning of the 20th century. It was also developed around the same time by [1] as part of a job and job evaluation program for the Commonwealth Edison Company. Like the work of Fayol, which largely complements that of [2], one studied work organizations from the worker's position, while the other did the same, but from the position of general manager to the production workshop. Nowadays, job analysis is used to update corporate social policy and enable the latter to improve employee satisfaction and retention. The analysis of job development remains an essential means of classifying individual and collective missions. The information offered by balance sheets, dashboards, etc., is no longer sufficient, it becomes important to periodically verify those who occupy them through job analysis, as indicated by [3].

Let's assume that in order to understand the job analysis process, it is important to define the job. This designates an individual work situation, defined in time and space and characterized by specific missions and set of tasks. The position is the basic unit of the division of labor in an organization. It is also a grouping of task responsibilities that requires the service of the same person. A workstation can be defined by the crossing of a position which is both geographical, hierarchical and functional. A position includes a set of activities linked to objectives, it presupposes that its holder has skills, capacities and know-how in accordance with the functioning of the necessary tasks. In the same vein, a job indicates a set of similar jobs in terms of their content, it is made up of a job family with common characteristics (missions, activities, responsibilities). Employment includes a set of positions that have sufficient close relationships with each other to be the subject of the same overall treatment. While the function for its part, designates a set of activities that determine the precise requirements, responsibilities falling more in a given area (specific skills) [4]. indicates that a profession is a grouping of standard jobs with similar purposes and revolving around the same areas of expertise. The profession constitutes a privileged and natural space for professional development. For [5], standard employment designates a set of work situations with identical content or similar, sufficiently homogeneous to be occupied by the same individual. The notion of standard job broadens the notion of workstation. The standard job initially remained an identification of the workstations used in the operation of the different work units. The localized positions are transposed on generic job repositories. At the end of this presentation of the concepts related to the concept of job analysis, a clear definition of this notion becomes more than important.

2.1 JOB ANALYSIS

It is a process of collecting information about a position over a given period, which makes it possible to describe the profile of a job as well as its specifications [6].. This analysis also and above all makes it possible to isolate the many skills, knowledge, skills and responsibilities required of the worker called upon to occupy this position. In addition, job analysis is the best way to differentiate one job from another. Job analysis follows two principles: the analysis focuses on what is done in reality; That is, the job as it is and not as it should be on the one hand, and the analysis focuses on the tasks, not the operator, on the other.

Thus, the analysis must respond to two concerns which are; know the usefulness of the work and describe the material, organizational and environmental components of the work. All the questions that this analysis must answer can be summed up in four questions: "What does the employee who occupies the position do?" it is a question of describing its fundamental mission, the tasks and main responsibilities assumed by its incumbent: number of direct reports, level of budget managed, etc., "how does it do it?" "It is a question of defining the links with the other existing stations, to identify the means and methods used, the mental activities involved, the working conditions such as: the hours, the physical load, the risks involved, "why does he do it?" it is about identifying the contribution of the position to the objectives of the company, that is to say its legitimacy. And finally, "what does that imply?" skills defined in terms of knowledge, specific skills and qualification are then updated.

We cannot stress it enough that the job analysis is carried out following four logics; namely the logic of improving efficiency, control and coordination; the logic of the main mission of the position, business logic and professional identity; the logic of taking into account changes in the business (commercial and technical) and the logic of taking into account changes in personnel (skills and motivations). The consideration of these logics in the analysis, helps to detect positives and criticisms allowing changes to be made to the job description (what the job is). When the specialist is dealing with a new position, the analysis is much more difficult to carry out because it is a question of identifying the tasks and activities of the position. In this case, it will have to be established essentially on the basis of the elements which motivated its creation. Based on the job

description (what the job is) and its analysis, hierarchy and personnel specialists adopt a definition of the post in question (what the post should be).

To achieve this, special attention must be paid to the different stages; at the Job Description level, this step seeks to give a global vision of the logic and dynamics of a position, so that it can be understood. Its purpose is to present all the important aspects of the position to allow the various activities related to human resources management to take place. When the position exists, it is necessary to carry out its in-depth analysis. Regarding the skills profile, this step presents the knowledge (knowledge), the skills (know-how) and attitudes (interpersonal skills) necessary to perform well in this position. The profile must be objective and realistic, to properly establish the skills profile, it is necessary to determine the skills useful for each task [7].

2.2 THE IMPORTANCE OF JOB DESCRIPTIONS AND ANALYSIS

The job description presents all the important aspects of the job with several possible uses as recalled by [8]. These aspects are; the definition of skills profiles for recruitment operations; the definition of skills to allow internal mobility; the definition of training and skills development needs; the determination of the remuneration scales; the organization of the company and the management of skills and finally, improving working conditions. While the help to the hierarchy, consists in setting objectives for the employee, by developing periodic activity account forms; to study the evolution of the position according to the evolutions of the products, take a look at the markets for / the product offered and the organization of the company; study the evolution of the employee; assess the employee, develop forms for the annual assessment and ensure, however, the establishment of a multi-skilling policy.

In terms of legal aspects, it is a question here of drafting the employment contract. In addition, by clearly identifying the multiple dangers of each job, the organization can act on health and safety at work and reduce the number of accidents and all that follows in terms of equity and rigorous in the pursuit of organizational objectives, analysis enables better working relationships. In addition, the analysis of jobs and positions is used in cases of transfers (promotion, transfers, etc.) of human resources, in jobs for which employees really have qualifications. This helps organizations ensure that human resources are used to their full potential. They also have the possibility of drawing up an inventory of jobs and periodically revise this inventory by making changes that correspond to organizational needs.

2.3 JOB DESCRIPTION SHEET AS AN ANALYSIS TOOL

The job description is a document of 1 to 4 pages, intended to characterize the job. It is a tool that is used to communicate on the duties of the position, to clarify the hierarchical position and the links between the position studied and other positions in the organization. It is focused on the job and not on the person [9]. The headings of the job description provide information on any job or position description in the form of a text identifying the nature of the work to be performed in a particular job, the methods, working conditions, duties and responsibilities of the person holding that job or position. This information is categorized by themes or headings as follows [5]. There are essential sections such as the job title (exact job title), the date on which the description was drawn up or updated, the department or service assigned and the situation in the structure: organization chart and hierarchical relationship with other positions.

This sheet cannot be closed without indicating the main mission, the Abstract / purpose of the job: short Abstract of the main responsibilities of the position, which helps to clarify the purpose of the position in the company. Assignments or activities: details of the tasks and operations to be carried out and the equipment, the documents and the resources made available (IT resources for example) must not be outdone. Certain information such as the margin of autonomy (precision of attributions), profile, requirements, the qualities required and possible progress towards other jobs should be mentioned often. Besides, what has just been recorded as information, possibly the number of people in this job, the percentage of time devoted to each activity, the approximate volume of the activities and the other functions depending on the function described (ascending hierarchical relations), should not be neglected. The mode of control by others (hierarchy) or assistance by (other than the hierarchy) including.

2.4 THE INTEREST OF THE JOB DESCRIPTION

This document has a dual interest for both the employee and the employer; That is to say, it has the interest of being a contractual document for the employee who occupies the post and for his / her direct supervisor (employer). For the employee, for example, this sheet allows the latter to know the missions and activities he must perform, the means made available to him as well as possible changes in the position. And for the employer, it makes it possible to know precisely the activities carried

out by the employee, to deduce the risks at the workstation, the preventive measures to be planned, facilitate better delegation and empowerment, without forgetting the improvement of the organization of work within the service, based on objective criteria, in order to assess performance and the professional skills of the employee (s) and to offer them training adapted to the requirements of their position.

3 THE POSITION ANALYSIS PROCESS

Job analysis is a process designed to study the content of each job, which pushes the organizational structure to train the actors involved and which allow the smooth running of the analysis process and the collection of relevant information. The purpose of this part is to shed light on the job analysis process, through the presentation of some job analysis objectives, the actors involved and the characteristics of the workstation. Then, we will determine the steps of the job analysis process and the techniques used, the writing of job descriptions and the limitations of job analysis.

3.1 THE OBJECTIVES OF THE JOB ANALYSIS

Job analysis helps streamline work. This analysis is done to provide details about the position and their contribution to the objectives set by the organization, as it defines the job characteristics by determining the activities and main missions and the operations that it requires as a skill and qualification. Rationalization of work makes it possible to detect ways of doing things and to communicate at the same time that they specify the modalities of evaluations, controls, sanctions and remuneration, etc.

Job analysis allows an allocation of the workforce, in any organization. It is becoming increasingly difficult to place "the right man in the right place", as [2] pointed out. The technical development accentuates the differentiation of requirements and working conditions, this development makes it possible to determine whether workers about to be hired meet the conditions required for the positions to be conferred. Job analysis allows a division of labor and a technical evolution of tasks. The development of the modern economy cannot be imagined without the system of extensive division of labor which has resulted in the diverse specialization of jobs and activities in all areas of the economy and management. The process of division and distribution of labor continues in various directions. It then leads to several degrees of professional experience and general or specialized training more or less intensive depending on the case. Some previously unimportant requirements acquire significance, for example, for tasks whose essential characteristics relate to the responsibilities assumed, to nervous and mental tension. These requirements cannot be integrated without further formality into the traditional concepts of the prioritization of activities. The reverse is also true. The requirements of the work should correspond as much as possible to the qualities and aptitudes of the workers, that is to say their qualifications.

Job analysis can be used for a variety of purposes. It can be useful for the development of a systematic training program in the company and also allows to better specify the organization charts and facilitates the determination of possible promotions. Job analysis and job qualification offer multiple benchmarks in various fields, ranging from the selection of skills to determining the possible causes of physical or mental damage. We can rationalize the allocation of the workforce or develop a long-term program for professional succession. Technical changes appear more clearly thanks to a better knowledge of the workstations and the impact on staff is better seen. During the initiation of new recruits, the job analysis gives precise indications of on-site training and development. It also facilitates the search for essential reserve personnel, because it makes it possible to compare the prevailing requirements. Job analysis also makes it possible to find appreciable improvements in the organization and distribution of work [10].

Job analysis also allows the implementation of the GPEC approach in an organization. It identifies the work to be performed by the employee in the organization and this by highlighting all the necessary information relating to responsibilities, missions, activities, qualifications and knowledge, etc. The typical job is the basis of the job classification, it is defined as "a set of work situation" that is to say the analysis of the work (position) allows the development of a nomenclature which is a relatively light and fast operation, in principle within the reach of all companies. Job analysis identifies strategic jobs that need to be analyzed in detail at a team or manager level.

3.2 THE PURPOSES OF JOB ANALYSIS

The job and position analysis is used within the organization by several actors, and for several purposes: The purpose of the job analysis is to provide complete and clear information on the nature of the activities and responsibilities entrusted to an employee to occupy his position. In other words, job analysis has several purposes within the organization, either in terms of

reorganizing work, or for company activities, particularly those of human resources management. It is considered as a tool for dialogue and management between the employee and his superior, it helps to better manage employee-employer relations.

Also, during the professional interview, it makes it possible to compare the formal analysis of the position with the reality of the activities: in order to allow the valuation of their skills, the development of their professional paths and their professionalization. It constitutes a tool for knowledge of the organization of work in an organizational structure, and this by formalizing the work situations of each employee while having a good knowledge of the contributions of each. She helps managers in particular in identifying key skills within the organization. Finally, job analysis is an information tool that helps to better understand existing jobs and their prioritization in the organization.

One of the questions that may hold our attention is that of the actors involved in job analysis. To do an analysis of jobs and positions in a company, it is essential to involve stakeholders who collect the necessary information on positions and jobs. It is possible to involve three categories of actors or stakeholders; job holders, immediate supervisors and professional analysts. For the job holder, it is the person who occupies the job that we want to analyze. He participates in the analysis since he is the one who knows best the work he does. Then the immediate supervisor, he is involved in order to clarify responsibilities and missions with objectivity. In addition, it also has a role of validating the work of the analysis for the hierarchy. Finally, professional analysts, who can be either the human resources manager or professionals in the field and this depending on the size of the company.

The category of people involved in each organization depends on the type of position or job to be analyzed, the quality of the information we want to collect, the time and money we can devote to it, the information gathering technique used as well as the objectives pursued by the analysis program. When the job analysis is done by a category of experienced and specialized analysts, the company will benefit from better quality analyzes and a better description of jobs and positions. However, the cost is much higher than if the company only uses the incumbents or immediate superiors. This is why the analysis of jobs and positions for an SME (small and medium-sized enterprise), for example can be carried out by the immediate superiors who themselves describe the tasks of their subordinates or ask them to proceed to their own description of tasks to subsequently approve the result. As for large organizations, it is possible to use, for example, committees of specialists in a specific field in order to gather complete information on a job to be analyzed. Moreover, the work of these specialists requires a minimum of uniformity, exchanges and, above all, that they do not impose their views on the current incumbents of the positions.

4 THE CONDUCT OF THE POSITION ANALYSIS PROCESS

It is a question here of presenting the methods of collecting information and the rules for drafting the job description, based on the methods and other tools retained for this operation.

4.1 INFORMATION GATHERING METHODS

According to [11], we can distinguish several methods to access knowledge of the workstation. These methods must make it possible to collect as quickly as possible, and with the maximum efficiency and precision all the information necessary to analyze a job. The questionnaire, for example, is a technique which consists in having the job holder fill out a questionnaire on the main aspects of the job (activities, equipment, etc.). Once this is duly completed, it is presented to immediate superiors who add their comments and observations.

Questions can come in many forms:

- Open: when the incumbent answers the questions that are gathered in a document.
- Closed: when the incumbent or the immediate superior gives, through expressions however on the various aspects of the work, the type of information requested.

This technique has the advantage of saving time and money, collecting as much information as possible, a certain freedom of expression for the incumbent, flexibility, minimum stress, a maximum number of people questioned and finally, ease in using the results. While the disadvantages abound, there is the problem with the collaboration of the incumbent, bias in the interpretation of questions, no interpersonal communication, reduced objectivity, we note a difficulty in developing the questionnaire and not forgetting the lack of spontaneity.

4.2 THE RULES FOR WRITING THE JOB DESCRIPTION

There are certain drafting rules for job descriptions, which apply regardless of the purpose and scope of the job analysis. A job description must be detailed and complete to bring out exactly the particularities and circumstances of the performance of the work necessary to judge and assess the requirements according to their nature, their intensity and possibly their duration. It must be unambiguous and without possible misunderstanding to avoid confusion, exaggerations and possible errors of judgment; intelligible and objective to give, even to non-specialists, an image as clear as possible of the analyzed work and not to make a priori value judgments.

Job content generally differs from job to job. The ideal content for a job description is about three pages. The length of the description obviously depends on the type of post described. When writing, there is the style that matters, but above all the clarity of the phases. What should be kept in mind is that the position should be described in sufficient detail so that whoever reads the description can clearly understand. The description should be written so that anyone, even if they have never seen how the position in question is performed, can read and understand the part of the analysis relating to the job description. In other words, we try to describe what the employee does, how he does it, why he does it and what his work involves. Note, however, that even if the job description is complete in a document and that reading it allows someone who is not familiar with the job to understand its content, nature, meaning and consistency, it does not need to be able to perform all of the tasks described.

4.3 THE STAGES OF JOB ANALYSIS

This process sheds light on the steps that analysts take to analyze or learn about a position within the company, as [12] recalls and mentions six steps. Preparation is the step of determining the objectives and responsibilities for each of the people involved in the organization and how we will use the analysis with the establishment of a review system, by specifying the conditions that will create a climate conducive to the collection of quality information. The identification of jobs, is the second step, during this one, you have to choose the positions to be described by making a number of decisions (Deciding in which service, which division or which section of the organization you are starting out in. Decide how many employees involved in each job or even. Decide how much time will be granted to each employee, etc.).

The third is the choice of technique and analysts, here you have to choose the most appropriate technique to use to analyze the job (an interview, a diary, an essay, a questionnaire, an observation, etc.) and also of the worker (the incumbent, the specialist analyst or the immediate superior). Gathering information remains the fourth step, it is about gathering information about what the job is and not on what it should be, by providing answers through questions to ask about the information to be collected (what? when? how? why? with what? or?). The penultimate step is the drafting of job descriptions, it is the establishment of the content of the tasks related to the positions of each job to be analyzed with the drafting of the content of the job description (Job identification, job summary, job description, responsibilities and authorities, autonomy and supervision). Finally, there is the job specification, That is to say, the identification of the factors required by the specifications of the tasks described, leading the action of establishing the link between the description of the tasks and the objectives of the job analysis.

4.4 THE LIMITS OF JOB ANALYSIS

Despite the advantages that job analysis gives to the organization, there are some drawbacks that can emerge, such as, for example, getting locked into the job definition; in other words, everyone can limit themselves to their field of activity as imposed on them. Brake versatility; the transition to the logic of competence or even employees hardly learn to manage borders and be their duties and those of others and do not take on many new responsibilities, which does not contribute to the development of their skills. Be careful not to forget to change the job description according to the changes that are introduced in the company (job analysis to be renewed over time).

5 CASE STUDY OF THE POSITION ANALYSIS OF THE COMPUTER SYSTEMS MANAGER

5.1 CONTEXT

Within the Gabonese of Waters Company, this position is permanently occupied by one person. The situation is currently showing a sometimes mixed assessment of ERP (Enterprise Resource Planning) or also called ERP "Integrated Management Software", which is an information system that makes it possible to manage and monitor on a daily basis, all the information and operational services of a company. Current compared to accounting software (SAGE type), here everyone has their opinion

on the subject, but has little real vision on what ERP can bring (including in relation to payroll software, which is completely independent). It seems important to us to deal with this situation.

5.2 ANALYSIS OF THE PRESENT CASE

The purpose of our field survey is to provide practical information for our study. Thus, the aim of this survey is to collect the maximum amount of information necessary for a general presentation of the Gabonese of Waters Company; show the importance of the job analysis process within this organizational structure and see how job analysis helps in achieving the goals of said structure, as well as that of employees. Finally, it is a question of seeing how the job analysis unfolds within the Gabonese of Waters Company through knowledge of the purpose and interest of job analysis within the structure. All this to compare the different concepts with existing realities, while presenting the field survey carried out with the Gabonese of Waters Company.

Indeed, we used interview and observation to identify all aspects of the job analysis and verify our assumptions. Remember that the survey carried out is based on an interview guide which includes open / closed questions, subdivided into two parts; the first represents all the information of the interviewee, as for the second, this mainly concerns questions relating to the job analysis process. Regarding the process, several steps must be taken into account and respected in order to carry out the job analysis process. The packaging, processing structure and water distribution, follows the steps that meet the objectives of the workstation analysis as well as its use; this is the preparatory phase, information gathering, job description writing, validity and specification phase.

5.3 THE METHODS USED BY GABONESE OF WATERS COMPANY FOR COLLECTING INFORMATION

5.3.1 THE INTERVIEW

This is a meeting with the job holder by his supervisor or external analysts depending on the purpose of the job analysis. The purpose of the interview is to learn about what the employee does, how does he do it? And why is he doing it? The interview is the method most used by Gabonese of Waters Company, because it allows users to have as much information as possible about the position, this structure favors this method, because it allows him to have relevant and quality information that will help achieve his analysis objective, moreover, it is less expensive and it saves time compared to other methods.

5.3.2 THE OBSERVATION

Another way of collecting data to analyze work is through direct observation of work situations. These data are used to describe and explain how operators proceed to perform a more or less complex set of tasks. The behaviors that appear through questionnaire or interview surveys are often very different from the behaviors actually observed, ergonomic studies document this discrepancy. The observation here made it possible to highlight, according to the different work sequences, the hidden intention to action. The analysis provided a sufficient basis for understanding the activity carried out. The real-term observations made it possible to collect a set of elements (gestures, movements, postures; the nature of the operator's information; operator actions and their support; operator information and communications). All these characteristics were taken into account during the observation, but their relevance is of unequal importance depending on the nature of the work and the objectives of the study. It should be remembered that it is only possible to observe what is observable. It is therefore impossible to observe directly.

This observation proved to be rigorous in producing a reliable description of the observed situation. Direct observations of the activity at the workstation were accompanied by verbalizations, according to a precise protocol, so as to disturb the active operator as little as possible. It required the construction of a protocol from a catalog of observable variables, such as displacements, information gathering and behavior. We have also established observation plans taking into account the following parameters: possible variations in the conditions for performing the task depending on the time of day when the task is performed, because there may be time constraints. Variations in representations: different use of information depending on the qualification of the operators. Based on all these parameters, we determined the mode of observation, continuous or sequential, the duration, frequency and time of the observation and finally, the objects of the observation: geographical location, workstations, operators. This method is the most used by Gabonese of Waters Company and the relevant results of which have helped us to carry out the workstation analysis. A video film was made and this recording allowed a detailed analysis of verbal and non-verbal behavior, in order to compare the data with the operator.

5.4 OBJECTIVE AND USEFULNESS OF A JOB ANALYSIS FOR THE GABONESE OF WATERS COMPANY

5.4.1 GOALS

The Gabonese of Waters Company carried out a job analysis to determine the desired objectives as demonstrated by all aspects of each position in the company, namely the required skills, tasks, responsibilities and expected results. In addition, the basic requirements should be clarified and verified. Job analysis is a fundamental management tool, as it is useful in determining the tasks to be accomplished when planning projects and organizing work. To specify the expectations and desired results when determining performance, to define the profile of the candidate sought during recruitment and to develop the skills of employees through training and development. A well-prepared job description for each position serves as the basis for the performance appraisal, also helps to clarify the salary scale and establish seniority levels, hence this operation within this organizational structure.

Job analysis allows this organizational structure to rationally collect information on the responsibilities of their job holders, the tasks and activities that the incumbent must perform to fulfill his responsibilities. The authority related to the position and the obligations in terms of communication and hierarchical responsibility, all this gives rise to the development of the job description and the specifics of the position. The job description places the precise tasks and responsibilities of the position, these working conditions, the specifics of the position which indicate the skills, education and experience necessary or desirable for the position. Job analysis indicates the value of the employee in the eyes of his superior, thus it is considered a basic tool in the day-to-day management of human resources, because it helps increase employee efficiency at the Gabonese of Waters Company. For her, it is the tool to help understand her tasks and responsibilities: the importance of his position relative to other positions and how his position contributes to the achievement of the missions, goals and objectives of the company. Also, it helps to increase organizational efficiency and it also allows management to identify employees who are better able to take on new responsibilities. and to reorganize the tasks.

In other words, a job description is necessary in order to recruit effectively or to assess the performance of an employee. For this, it is important to have on hand a written description of each workstation in the company, in addition to carefully keep the job descriptions and update them regularly. We can say that it is considered as a development tool, because it constitutes one of the essential human resources management instruments of the Gabonese of Waters Company. From which the accomplishment of activities is made such as: setting objectives; performance assessment; planning and onboarding a new employee; assessment of training needs; the establishment of career management plans for an employee and finally the performance evaluation and the determination of a fair and equitable wage policy.

5.4.2 USES OF JOB ANALYSIS

Job analysis is a real management tool for those responsible for human resources, as a tool, he becomes aware of the various functions of the company and deduces the requirements related to each position in order to guide the staff according to their physical or intellectual capacity at the various workstations. This job analysis helps the recruitment service of Gabonese of Waters Company to establish recruitment criteria and standards, with the development of a job description sheet that describes with sufficient precision the skills and the qualifications that must be held by the candidate. This description will allow this company to have a global vision of the job requirement (missions, activities, job situation, working conditions, etc.), it also makes it possible to describe the fundamental elements of a professional situation. Job analysis is a basic tool for setting the compensation of employees in this company, after job classification, which determines job levels.

Remuneration at the Gabonese of Waters Company also includes the allocation of allowances such as births, etc. The evolution of qualifications very quickly puts the classification and remuneration scales at a disadvantage. It requires constant updating of job descriptions highlighting stable job assignments. Job analysis also presents a basic tool for restructuring or relocating a service within Gabonese of Waters Company. As it allows redeployment and reorientation within the company, redeployment and reorientation are applied in the case of subcontracting of activities, medical disabilities, etc. All the information is available in the job analysis to make these movements.

Training has a significant impact on the development of skills, for this the Gabonese of Waters Company attaches great importance to the training of its employees with the aim of acquiring new knowledge, working methods and techniques that allow the development of skills, but before proceeding with this activity of human resources management, this company takes into account the job analysis for the development of the training plan and also career plans. Job analysis is the first step in the planning process of jobs and skills, it forms the basis by allowing precise knowledge of the company's positions. This is the tool that describes the main activities and the purpose of the position within an organization.

6 CONCLUSION

The job analysis process is a fundamental process on which all Human Resources activities are based. It allows us to fully understand the link between job analysis and other human resource management practices. It also collects information on jobs within the organizational structure. And how the business performs its functions and achieves its goals. In light of the discussion just given above, we can see that job analysis is not a simple practice to perform, because it is subject to a number of steps, rules and choice of techniques that allow us to collect relevant information. Added to this are the limitations that hamper the analysis process. Some organizational structures call on professional external stakeholders or internal stakeholders to carry out this process. In this article, we have presented the workstation analysis approach, in order to clearly illustrate this process and observe, on the basis of the various links that formed the backbone of this manuscript.

REFERENCES

- [1] Guillot-Soulez, C. « Gestion des Ressources Humaines », Gualino Lextenso, 7^{ème} édition, 2014- 2015.
- [2] Kerlan, F. « Guide pour la Gestion Prévisionnelle des Emplois et des Compétences », édition Organisation Groupe Eyrolles, 8^{ème} édition, 2012.
- [3] Mehdi, Y. et Bahri, AB. (2014). « Management stratégique des ressources humaines et leur efficacité dans le système d'insertion professionnel », université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen
[En ligne] Disponible sur: <http://dspace.univtlemcen.dz/handle/112/6599> consulté le 11/03/2021.
- [4] Guerrero, S. « Les outils des RH: Les savoir-faire essentiels en GRH », Dunod, 3^{ème} édition, Paris, 2014.
- [5] Citeau, J-P. « Gestion des Ressources Humaines principes généraux et cas pratiques », Armand Colin, 4^{ème} édition, Paris, (1994).
- [6] ST-Onge, S., Audet, M., Haines, V. et Petit, A. « Relever des défis de la Gestion des Ressources Humaines » 2^e édition, Gaëtan Morin, 2004.
- [7] Waxin, M-F. et Barmeyer, C. « Gestion des ressources humaines: problématiques, stratégies et pratiques », Liaisons, 2008.
- [8] Peretti, J-M et al. « GRH une approche internationale », De boeck, 3^{ème} édition, 2006.
- [9] Moulette, P., Roques, O. « Gestion des Ressources Humaines », Dunod, 12^e édition, 2014.
- [10] Pornschlegel, M-H. « Analyse des tâches et la qualification du travail: principes de base, méthodes et applications dans les industries de la communauté européenne du charbon et de l'acier ». Rapport. Collection économie du travail. Luxembourg, (Juin 1967).
- [11] Peretti, J-M. « Ressources Humaines et Gestion des personnes », Vuibert, 8^{ème} édition, Paris, 2011.
- [12] Peretti, J-M. « RH: tout ce que souhaitez savoir sur les RH réponses d'un spécialiste » Dunod, Paris, 2001.
- [13] Peretti, J-M. « Gestion des Ressources Humaines: synthétique et opérationnel », 21^e Vuibert, 2016.
- [14] Sekiou, L. « Gestion du personnel », l'édition d'organisation, 3^{ème} édition, Paris, 1986.
- [15] Shimon, L., Dolan et al, « la gestion des Ressources Humaines », 3^{ème} édition, Pearson Education, Paris, 2002.

Evaluation de l'impact de la mosaïque africaine sur le rendement en racines fraîches du manioc à l'Est de la République Démocratique du Congo

[Evaluation of the impact of cassava mosaic disease on the yield of fresh cassava roots in the East of Democratic Republic of Congo]

Ugentho Ukany Henry¹, Munganga Wa Muhwandju Romain¹, Musungayi Mpongolo Eric¹, Casinga Clerisse², and Bashizi Kalinga Benoît²

¹Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomiques, BP 2037 Kinshasa 1, Centre de Recherche de Mulungu, RD Congo

²Institut International d'Agriculture Tropicale, Station de Kalambo, Bukavu, RD Congo

Copyright © 2021 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: Cassava is the main food crop grown in all provinces of the Democratic Republic of Congo.

Increasing its productivity therefore comes up against multiple constraints, including diseases, in particular the endemic form of the mosaic, which occupies a prominent place.

Small farmers who are the main producers remain much attached to local varieties although research regularly develops and disseminates improved varieties resistant to the African cassava mosaic.

The objective of the study we conducted was, on the one hand, to assess the real yields of the resistant varieties disseminated and of the most widely cultivated local variety and, on the other hand, to determine the rate of loss of production of the variety. Local compared to varieties improved in distribution.

The trial, set up with the active participation of the peasantry, included 4 repetitions in 4 different sites, near the peasants' fields. Four treatments consist of 4 varieties including 3 improved and 1 local.

Cuttings taken from plants without disease symptoms are planted at 1mx1m spacing's and harvesting took place 12 months after planting.

The recovery was observed 1 month after planting, while data on diseases and pests are taken from the third month of planting until harvest at 3-month intervals.

The results obtained show that the severity and incidence of the mosaic were higher on the local variety than on the improved varieties, one of which was shown to be somewhat susceptible to the disease.

The loss of production of the local variety is estimated at plus or minus 50% compared to the average yield of the improved varieties.

KEYWORDS: Impact, mosaic, yield, fresh roots.

RESUME: Le manioc est la principale culture vivrière cultivée dans toutes les provinces de la République Démocratique du Congo.

L'augmentation de sa productivité se heurte dès lors à des multiples contraintes parmi lesquelles, les maladies notamment la forme endémique de la mosaïque qui occupe une place de choix.

Les petits paysans qui sont les principaux producteurs restent très attachés aux variétés locales bien que la recherche mette au point et diffuse régulièrement les variétés améliorées résistantes à la mosaïque africaine du manioc.

L'étude que nous avons conduite avait pour objectif d'une part, d'évaluer les rendements réels des variétés résistantes diffusées et de la variété locale la plus cultivée et d'autre part, de déterminer le taux de perte de production de la variété locale par rapport aux variétés améliorées en diffusion.

L'essai installé avec la participation active paysanne, comportait 4 répétitions réparties dans 4 sites différents, à proximité des champs des paysans. Quatre traitements sont constitués par 4 variétés dont 3 améliorées et 1 locale.

Les boutures prélevées sur les plants sans symptôme des maladies sont plantées aux écartements de 1mx1m et la récolte est intervenue 12 mois après plantation.

La reprise a été observée à 1 mois après plantation, alors que les données sur les maladies et ravageurs sont prise à partir du troisième mois de la plantation jusqu'à la récolte à 3 mois d'intervalle.

Il ressort des résultats obtenus que, la sévérité et l'incidence de la mosaïque fussent les plus élevées sur la variété locale que sur les variétés améliorées dont l'une s'est montrée un peu sensible à la maladie.

La perte de production de la variété locale est évaluée à plus ou moins 50 % par rapport à la moyenne de rendement des variétés améliorées.

MOTS-CLEFS: Impact, mosaïque, rendement, racines fraîches.

1 INTRODUCTION

Le manioc (*Manihot esculent Crantz*) constitue une excellente source de calories peu couteuse pour la plupart de population de nombreux pays dans le monde [2]. Il contribue à l'amélioration de revenu et de la sécurité alimentaire de plus de 800 millions d'habitants sous les tropiques [1].

Le manioc est la principale culture vivrière en République Démocratique du Congo.

Il occupait jadis la troisième place au monde après le Brésil et le Nigeria [3].

Actuellement, notre pays occupe la cinquième place au monde et la deuxième en Afrique après le Nigéria [5].

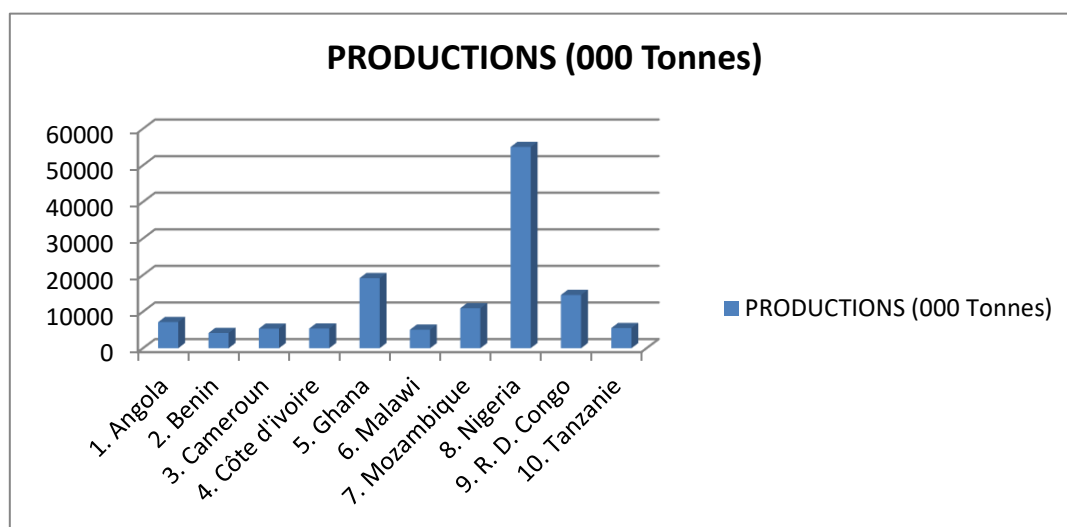


Fig. 1. Top des 10 pays producteurs de manioc en Afrique en 2017

La consommation humaine du manioc en République Démocratique du Congo est la plus élevée au monde: en effet, un congolais consomme en moyenne 453 kg de racines fraîches par an. Un ménage de 7 à 8 personnes consomme près de 4 kg de feuilles de manioc par semaine [17].

Depuis plusieurs décennies, la culture du manioc connaît une baisse sensible de production [4].

Le faible rendement de la culture dépassant difficilement 10 tonnes à l'hectare rend la culture moins attractive aux producteurs commerciaux alors qu'elle contribue à l'objectif stratégique de la lutte contre la pauvreté [9].

L'augmentation de la productivité du manioc se heurte à des multiples contraintes notamment les pratiques culturales rudimentaires, la baisse du niveau de fertilité du sol ainsi que de nombreuses maladies principalement la mosaïque dont la forme épidémiologique sévère envahit les anciennes variétés cultivées par les producteurs [10], [8].

La persistance de la maladie est alors accentuée par l'usage des boutures issues des plants infectés [15].

Ainsi, la République Démocratique du Congo connaîtra une réduction sensible de la production au cours des années 1990, suite aux dégâts causés par une forme épidémique de la mosaïque africaine du manioc notamment les variantes de l'Afrique de l'Est et de l'Ouganda [6].

En Afrique de l'Est, la perte de production due aux dégâts causés par la maladie est estimée entre 20 et 95 % et dépend de la variété et du moment de l'infection [16]. Au Kenya, la perte de production est évaluée entre 25 et 75 % [12].

En République Démocratique du Congo, la perte de production variant de 10 à 63 % dépend de la variété et du moment de l'infection [11].

De 1999 à 2001, 434 clones mis au point par l'IIITA sont introduits dans notre pays à travers les Centres de Recherches de l'INERA- M'vuazi et Mulungu.

Ainsi, plusieurs variétés de manioc seront sélectionnées et diffusées par l'Antenne du Programme National Manioc de Mulungu en Province du Sud-Kivu, notamment SAWASAWA, MAYOMBE, SUKISA, LIYAYI, liste non exhaustive [14].

Le développement et la diffusion des variétés résistantes de manioc est l'une des meilleures solutions à l'accroissement du rendement de la culture [7].

Malheureusement, aucune étude au sujet de l'impact réel de la maladie sur la productivité du manioc n'avait déjà fait l'objet d'une recherche participative à l'est de la République.

A cet effet, nous avons pensé qu'il était alors opportun d'évaluer l'impact de la mosaïque sur le rendement des variétés améliorées en diffusion et la variété locale la plus cultivée par les producteurs de la zone.

Spécifiquement, le présent travail vise d'une part à évaluer les rendements des variétés tolérantes et de la variété locale la plus cultivée; et d'autre part, à déterminer le taux de perte qu'accuse la variété locale par rapport aux variétés améliorées diffusées par la recherche à travers les services spécialisés de la vulgarisation agricole.

2 MATERIELS ET METHODES

L'essai a été installé en milieu réel, dans les champs des agriculteurs structurés en Champs Ecoles Paysans en s'appuyant sur le postulat d'interdépendance entre la recherche et les producteurs ayant la culture de manioc comme activité principale dans la région.

Le choix des sites, la mise en place et les entretiens de l'essai jusqu'à la récolte sont effectués par les membres des 4 Champs Ecoles paysans composés chacun de 30 membres.

L'essai est constitué par 4 répétitions complètes randomisées réparties dans 4 villages en raison d'une répétition par champ école paysan.

Quatre traitements sont constitués par 4 variétés dont 3 améliorées sélectionnées puis diffusées par le Centre de Recherche de l'INERA-Mulungu et la variété locale la plus cultivée choisie par les partenaires paysans eux-mêmes. Il s'agit notamment de la variété Liyayi, la variété Mayombe, la variété Sawasawa et la locale Nambiyo plantées aux écartements de 1m x 1m sur des parcelles élémentaires continues de 6m x 8m chacune.

Les boutures de toutes les variétés sont prélevées sur les plants ne présentant aucun symptôme clinique de la mosaïque et la randomisation s'est effectuée par simple tirage au sort.

Les parcelles d'essai sont installées à proximité des champs de multiplication des Champs Ecoles Paysans dont les terrains répondaient aux critères d'accessibilité, de fertilité moyenne représentative de la région.

Tableau 1. Situation géographique des sites et partenaires

Rép	Site	Coordonnées géographiques			CEP
		Lat. Sud	Long. Est	Alt. (m)	
1	Bwimika	-2, 30394	28, 81067	1693	AAUDEBU
2	Bukanga	-2, 27622	28, 82300	1679	AAUDEBU
3	Buhinda	-2, 27999	28, 80632	1730	PGD
4	Kamakombe	-2, 29715	28, 79216	1789	APSK

Rép. = répétition; Lat. = latitude; Long. = longitude; Alt. = altitude.

AAUDEBU = Association des Agriculteurs Unis pour le Développement de Bugorhe.

APSK = Association des Producteurs de Semences de Kavumu.

CEP = Champ Ecole Paysan.

PGD = Programme Général de Développement.

Le taux de reprise est observé à 1 mois après la plantation.

Les données des observations sur la taille des plants, l'incidence et la sévérité de la maladie progressivement à 3, 6, 9, 12 mois après plantation.

La prise des données sur le nombre, le poids des racines tubérisées fraîches est intervenue à la récolte, 12 mois après la plantation.

Toutes ces observations sont faites en collaboration avec les membres des champs écoles paysans.

La sévérité de la maladie a été évaluée en utilisant l'échelle de cotation variant de 1 à 5.

1 = Aucun symptôme sur les feuilles.

2 = Début de symptôme marqué par une légère chlorose sur la feuille, sans réduction de la surface foliaire.

3 = Présence remarquable de symptôme de chlorose sur 1/3 des folioles avec un début de rétrécissement et déformation.

4 = Forte chlorose, déformation de 2/3 des folioles avec réduction sensible de la surface foliaire.

5 = Symptôme couvrant toutes les folioles avec des feuilles complètement tordues.

L'incidence de la mosaïque est exprimée en pourcentage des plants atteints par rapport au nombre total de plants observés [13].

Les données des observations sont collectées et traitées par le tableur Excel avant d'être soumises à l'analyse de la variance à l'aide du logiciel R.

Les moyennes des traitements sont séparées en utilisant la différence la moins significative à un seuil de 5 % ($P \leq 0,05$).

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 RÉSULTAT

Tableau 2. Performance des variétés par rapport à la sévérité et à l'incidence de la mosaïque

Variété	Sévérité de la mosaïque (1-5)				Incidence de la mosaïque (%)			
	Bwimika	Bukanga	Buhinda	Kamakombe	Bwimika	Bukanga	Buhinda	Kamakombe
Liyayi	1	2,3	2,1	2,5	0	18,2	16,7	9,1
Mayombe	1	1	1	1	0	0	0	0
Sawasawa	1	1	1	1	0	0	0	0
Nambiyo	3,5	3,6	4,8	3,7	8,5	58,3	50	60
Moyenne	3,5	2,95	3,45	3,1	2,12	19,12	16,67	17,27
C. V. (%)	63,5	63,2	91,1	66,4	30,8	199,2	170,8	208,7

Tableau 3. Performance des variétés dans les sites par rapport au rendement moyen en tonnes par hectare

Variété	Rendement moyen en t/ha			
	Bwimika	Bukanga	Buhinda	Kamakombe
Liyayi	41.7	49.1	37	43.4
Mayombe	43	48.3	31.1	39.3
Sawasawa	37.9	38.1	36	38.6
Nambiyo	28.9	19.3	9.2	22.3
Moyenne	37.875	38.7	28.32	35.9
C. V. (%)	18.06	39	36.93	26.45

c. v.: Coefficient de variation

3.2 DISCUSSION

L'analyse de la variance de la sévérité de la mosaïque indique une différence hautement significative ($P \leq 0,000$) entre les variétés. La variété locale Nambiyo a été sévèrement plus attaquée que la variété Liyayi dont la sévérité moyenne de la maladie est très faible alors que Mayombe et Sawasawa n'ont manifesté aucun symptôme de la maladie.

La différence entre les moyennes de l'incidence de la maladie sur les variétés est très significative ($P \leq 0,001$).

L'incidence de la maladie sur les deux variétés améliorées, à savoir Mayombe et Sawasawa est nulle, alors que quelques plants de Liyayi (11%) ont manifesté les symptômes de la maladie; et 44% des plants de la variété Nambiyo sont attaqués.

La variété Liyayi est la plus productive bien que sensible à la mosaïque. Elle est tolérante car elle exprime sa potentialité productive malgré la présence des symptômes de la maladie.

Les variétés Mayombe et Sawasawa produisant respectivement 40,5 t/ha et 37,7 t/h; se sont montrés plus résistantes à la maladie.

Le rendement moyen de la variété locale Nambiyo a pu atteindre 19,925 t/ha.

La différence entre les moyennes de rendement des variétés est hautement significative

($P \leq 0,0006$), elles varient de 19,925 à 42,8 t/ha.

Le rendement moyen en racines fraîches dépassant difficilement 10 tonnes à l'hectare, l'amélioration du rendement de la variété locale du simple au double se justifie par le respect des techniques culturales durant la conduite de l'essai.

En nous référant aux données du présent travail, le rendement moyen des deux variétés résistantes est de 39,1 tonnes de racines fraîches par hectare. La perte de rendement équivaut alors à 49,04 % par rapport à la variété locale utilisée dans l'essai.

Par rapport à la moyenne nationale de 2017 en République Démocratique du Congo, cette perte de rendement en racines fraîches est énorme car elle se chiffre à 74,44 %.

4 CONCLUSION

La culture de manioc est confrontée à plusieurs contraintes dont les maladies et ravageurs, les pratiques culturales rudimentaires et la baisse du niveau de fertilité qui ne cessent de réduire sa productivité.

Des résultats obtenus, la variété locale la plus cultivée et utilisée dans l'essai a été moins productive que toutes les variétés améliorées à cause de sa sensibilité à la mosaïque. Son rendement a doublé par rapport au rendement habituel de la culture dans la région. Cette augmentation est sans doute due au respect des techniques culturales dans l'essai.

La variété Liyayi tolérante à la mosaïque africaine est la plus productive, suivie par Mayombe et de Sawasawa avec un écart variant de 2 à 3 t/ha; alors que entre la troisième variété et la locale, l'écart s'est accru jusqu'à plus de 17 t/ha.

Eu égard à ce qui précède, l'ampleur des dégâts causés par la maladie sur la variété locale et son rendement est très importante, la perte de production en racines tubéreuses fraîches due à la mosaïque africaine du manioc varie de 50 à 74 %.

Les acteurs qui œuvrent pour la promotion de la culture de manioc doivent se souder les coudes pour anéantir l'impact très négatif de la mosaïque africaine sur la productivité du manioc en militant pour l'usage des meilleures techniques de gestion de la maladie.

REMERCIEMENTS

Nous remercions sincèrement les coauteurs de notre article et tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la mise en place et au suivi de l'essai, notamment les membres des Champs Ecoles Paysans.

REFERENCES

- [1] Bokanga, M. and Otoo, E., 1994. Cassava based foods: how safe are they. In: Tropical Root Crop in Developing Economy. Ofon, F. and Hahn, S. K., pp. 225-234. Proceedings of the 9th symposium of the International Society for Tropical Root Crop, 20-26 October 1991, Accra, Ghana.
- [2] Donald, L.P., Philipps, P.T. et Kagbo, B.R. 1998. Stratégie mondiale de production du manioc. Transformation d'une plante à racine tropicale traditionnelle. Lancer le développement industriel rural et augmenter les revenus des agriculteurs plus pauvres.
- [3] FAO, 2004. Statistiques de la production mondiale de manioc, Rome, Italie.
- [4] FAOSTAT, 2007. Year Book for 2006, Rome, Italy.
- [5] FAO, 2017. Production de manioc, L'Afrique et le monde: Le Nigeria et l'Afrique, champions mondiaux du manioc, Rome, Italie.
- [6] Jennings, D. L., 1994. Breeding for resistance to Africa Cassava mosaic geminivirus in East Africa Tropical Sci, 34: 110-122.
- [7] Legg, J.P., 1999. Emergency, spread and strategies for controlling the pandemic of mosaic virus disease in East and Central Africa. Crop protection, 18: 627-637.
- [8] Mahungu, N.M., Tata Hangy, K.W., Bidiaka, S.M., Frangoie, A., 2014. Multiplication de matériel de plantation et gestion des maladies et ravageurs. Manuel de formation destiné aux agents de terrain, Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), Kinshasa, R.D. Congo. 44 pp.
- [9] Ministère National de l'Agriculture, 2018. Sécurité alimentaire, niveau de production agricole et animale. Evaluation de la campagne Agricole 2017-2018 et bilan alimentaire du pays. Rapport annuel du Ministère National de l'Agriculture, Kinshasa, R.D. Congo.
- [10] Phénéas NTAWIRUNGA, 2007. Agronomie du manioc. Séminaire de formation du 30/01 au 01/02/2007, Centre Nautique, Bujumbura, Burundi. 66pp.
- [11] Programme National Manioc (PRONAM), 1985. Rapport annuel d'activités 1984-1985, Kinshasa, Zaïre. 15pp.
- [12] Seif, A. A., 1992. Effects of cassava mosaic Virus on yield of cassava. Plant Disease 66,.
- [13] Sseruwangi, P., Sserubombwe, W. S., Legg, J. P., Ndunguru, J. And Thresh, J. M., 2004. Methode of surveying the Incidence and Severity of cassava mosaic disease and white fly vector populations on cassava in Africa: a review Virus Research 100, 129-142.
- [14] TATA HANGY, K. Pratiques culturelles du manioc, INERA-Mulungu, R. D. Congo, inédit, 17 pp.
- [15] Theberge, R. L., 1985. Les principaux ravageurs et maladies d'Afrique. Manioc, Igname, Patate douce, Aracées, 108pp.
- [16] Thresh, J. M., Fargette, D. and Ottim Nape, G. W. 1994. Effects of Africa cassava mosaic geminivirus on the yield of cassava. Tropical Science 34, 26-40.
- [17] YANDJU, D. L. Marie Claire. Situation de la filière Manioc en République Démocratique du Congo: Analyse et Perspectives. Laboratoire de microbiologie (Biologie moléculaire), Université de Kinshasa, République Démocratique du Congo.

Impact de l'efficacité des méthodes d'application de la fumure minérale sur la croissance et le développement végétatif du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L) à Mankono, Centre-nord de la Côte d'Ivoire

[Impact of the effectiveness of the methods of applying mineral manure on the growth and vegetative development of the cotton plant (*Gossypium hirsutum* L) in Mankono, Central-north of the Côte d'Ivoire]

Moussa Sylla¹, Kra Frédéric Kouamé², and Inza Coulibaly³

¹Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²Centre National de Floristique, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

³Direction Régionale de Mankono, Compagnie Ivoirienne pour le Développement des Textiles, 01 BP 622 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 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 misuse of mineral fertilizers is cause of the low production of cotton crops in Côte d'Ivoire. Thus, the adequate application of the mineral manure is necessary to boost the growth and vegetative development of cotton plants. The present study carried out in Mankono in the Center north of the Côte d'Ivoire falls within this framework. The objective is to determine the optimal method of application of mineral fertilizers. The treatments consisted of different methods of applying mineral fertilizers to the cotton plant: T1 (0 kg/ha of NPKSB and urea), T2 (100 kg/ha of NPKSB and 30 kg/ha of urea respectively applied at 29 and 57 days after sowing without burial) and T3 (200 kg/ha of NPKSB and 50 kg/ha of urea respectively applied at 15 and 45 days after sowing with closed pocket). In a Fisher block device dispersed in six repetitions, the height of cotton plants 45 and 60 days after sowing, the number of fruiting branches and flower buds per plant 65 days after sowing were the parameters measured. The results revealed that the T3 treatment allows to obtain the best parameters of growth and vegetative development of the cotton plant. However between T2 and T3 treatment there was no significant difference for all the variables measured except for the number of fruiting branches per plant. The recommended method of application of mineral manure (T3) will make it possible to compensate for the production deficit in cotton cultivation.

KEYWORDS: Mineral fertilizers, fruiting branches, cotton crops, Béré region.

RESUME: La mauvaise utilisation des engrais minéraux est une cause des faibles productions des cultures cotonnières en Côte d'Ivoire. Ainsi, l'application adéquate de la fumure minérale s'avère nécessaire pour booster la croissance et le développement végétatif des cotonniers. La présente étude réalisée à Mankono au Centre-nord de la Côte d'Ivoire s'inscrit dans ce cadre. L'objectif est de déterminer la méthode d'application optimale de la fumure minérale. Les traitements étaient constitués par différentes méthodes d'application des engrais minéraux sur le cotonnier : T1 (0 kg/ha de NPKSB et urée), T2 (100 kg/ha de NPKSB et 30 kg/ha d'urée respectivement appliqués 29 et 57 jours après le semis sans enfouissement) et T3 (200 kg/ha de NPKSB et 50 kg/ha d'urée respectivement appliqués 15 et 45 jours après le semis à poquet fermé). Dans un dispositif en blocs de Fisher dispersés en six répétitions, la hauteur des plants de cotonnier 45 et 60 jours après le semis, le nombre de branches fructifères et de boutons floraux par plant 65 jours après le semis ont été les paramètres mesurés. Les résultats ont révélé que

le traitement T3 permet d'obtenir les meilleurs paramètres de croissance et de développement végétatif du cotonnier. Cependant entre le traitement T2 et T1 il n'y a pas eu de différence significative pour l'ensemble des variables mesurées à l'exception du nombre de branches fructifères par plant. La méthode d'application recommandée de la fumure minérale (T3) permettra de palier au déficit de production en culture cotonnière.

MOTS-CLEFS: Engrais minéraux, branches fructifères, culture cotonnière, région du Béré.

1 INTRODUCTION

La Côte d'Ivoire est un pays à vocation agricole comme la plupart des pays de l'Afrique subsaharienne. En effet, le secteur agricole représente 28 % du Produit Intérieur Brut (PIB) et 40 % des exportations du pays, 62 % hors pétrole. Il emploie 46 % des actifs et fait vivre les deux tiers de la population [1]. C'est pourquoi de l'indépendance à nos jours, les programmes de développement et les politiques nationales ont toujours accordé une place de choix à ce secteur afin de promouvoir la croissance économique et réduire la pauvreté.

La place occupée par le coton dans le secteur agricole est d'une importance capitale. Il représente le quatrième produit d'exportation de la Côte d'Ivoire et joue de ce fait un rôle important dans l'économie agricole du pays [2]. En effet, la filière cotonnière a une contribution de 1,7 % dans le PIB du pays et sa part dans les exportations a atteint 7 % au début des années 2000 [3]. Ces exportations ont généré un chiffre d'affaires en devises de l'ordre de 53 milliards de francs CFA soit 98,7 millions de dollars US [4]. Cultivé sur une superficie de 327 204 hectares, le coton procure une part importante des ressources financières de 117 000 paysans. En 2018, la production de coton a atteint 412 646 tonnes [2]. Cependant, bien qu'elle ait une faible importance relative sur le plan national, la culture du coton constitue la principale source de revenus monétaires des agriculteurs des zones de savanes et participe de ce fait à la lutte contre la pauvreté. Elle est aussi garante de la sécurité et de la souveraineté alimentaire de ces zones grâce aux cultures vivrières associées [5].

Suite à de nombreux travaux de recherches agronomiques, de formation et d'information des producteurs agricoles, de longues années de vulgarisation, la place de la culture du coton a fortement évolué dans les systèmes de production agricole. En effet, le coton qui était autrefois essentiellement une culture associée aux vivriers, est devenu actuellement une culture exclusivement installée en culture pure. Ceci a fortement amélioré les rendements de coton graine, passant ainsi de 504 kg/ha en 1960 à 1 454 kg/ha en 1984, même s'ils sont retombés depuis à environ 1 200 kg/ha [3]. Cette baisse du rendement serait due à de mauvaises pratiques culturales notamment au niveau des méthodes d'application des engrais minéraux. Il convient de signaler que la mauvaise application des intrants est considérée comme une stratégie paysanne de gestion des risques car il permet de limiter les coûts de production. Cette pratique est citée comme une des causes de la faible productivité en zone cotonnière. Selon [6, 7], elle concerne particulièrement les engrais minéraux, aux coûts prohibitifs. Ainsi, l'application optimale des engrais minéraux permet de relever le niveau de productivité des cultures. L'impact de l'application correcte des engrais est perceptible sur l'aspect des plantules de cotonnier jusqu'à la phase de floraison [8].

La présente étude évalue les effets de la fertilisation minérale sur la croissance et le développement végétatif du cotonnier. Elle vise à déterminer la méthode d'application optimale de la fumure minérale afin d'améliorer la productivité des cultures de cotonnier.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'étude a été conduite dans la zone CIDT (Comagnie Ivoirienne pour le Développement des Textiles) de Mankono (latitude 8°3' nord, longitude 6° 11' ouest). La localité de Mankono est située au Centre-nord de la Côte d'Ivoire dans la région du Béré, à 455 km au Nord d'Abidjan la capitale économique. La zone d'étude appartient au climat tropical de type soudanien, avec une saison de pluie allant de mars à septembre et une saison sèche, de novembre à février. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1 274 mm d'eau et la température moyenne de 26,1 °C [9]. Les essais ont été implantés sur des sols ferrugineux tropicaux qui sont prédominants dans les zones cotonnières. Ces sols ont une texture sablo-limoneuse à sableuse en surface et limoneuse en profondeur [10].

2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal est constitué de la variété de cotonnier X 442-A dont le cycle est de 122 jours et le rendement en coton graine est de 1 984 kg/ha. Cette variété a été cultivée selon une rotation coton-riz-coton.

2.3 FUMURE MINÉRALE

La fertilisation minérale du cotonnier a été assurée par l'engrais de mélange NPKSB de formule 15-15-15-6-1 et par l'urée [CO (NH₂)₂] titrant 46 % d'azote.

2.4 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Les expérimentations ont été réalisées en milieu paysan selon un dispositif en blocs de Fisher dispersés, avec six répétitions et trois traitements correspondant à différentes méthodes d'application (dose, période d'application et mode d'épandage) des engrais minéraux sur le cotonnier. Les traitements étudiés sont les suivants: T1 = sans apport d'engrais NPKSB et urée (témoin), T2 = 100 kg/ha de NPKSB et 30 kg/ha d'urée respectivement appliqués 29 et 57 Jours Après le Semis (JAS) sans enfouissement (méthode d'application paysanne des engrais), T3 = 200 kg/ha de NPKSB et 50 kg/ha d'urée respectivement appliqués 15 et 45 JAS à poquet fermé (méthode d'application recommandée des engrais).

2.5 CONDUITE DE L'ÉTUDE

Le sol a été labouré par traction bovine à l'aide d'une charrue montée sur un multicultureur, puis pulvérisé par des canadiens. Les parcelles ont été par la suite billonnées avec un butteur. La parcelle élémentaire était de 237,12 m² et comportait 18 lignes de 15 m de long, séparées de 0,8 m l'une de l'autre. La superficie totale de chaque essai était de 4 268,16 m². Le cotonnier a été semé en poquets, avec un écartement de 0,30 m, puis démariés 15 jours après le semis, à deux plants par poquet. La fertilisation minérale du cotonnier a été réalisée selon les doses, périodes d'application et modes d'épandage ci-avant définis par les traitements. Le contrôle des mauvaises herbes a été assuré par l'application en pré-lévée du cotonnier d'un herbicide chimique à base de pendiméthaline (3 l/ha), complété par des désherbages mécaniques à l'aide de canadiens. La gestion des insectes du cotonnier a été réalisée en appliquant profenofos (1 l/ha) 40 JAS et abamectine benzoate (1 l/ha) en deux applications respectivement 54 et 68 JAS.

2.6 COLLECTE DES DONNÉES

Les observations sur le cotonnier ont concerné la hauteur des plants 45 et 60 JAS, le nombre de branches fructifères et de boutons floraux par plant 65 JAS. Ces paramètres ont été évalués sur les neuf lignes centrales de chacune des parcelles élémentaires.

2.7 TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données collectées ont été soumises à une analyse de variance, à l'aide du logiciel XLSTAT 2014. Le test LSD de Fisher a été utilisé pour la comparaison des moyennes lorsque l'analyse de variance révèle des différences significatives entre les traitements, au seuil de probabilité de 5 %.

3 RÉSULTATS

3.1 IMPACT DE L'APPORT DES ENGRAIS SUR LA HAUTEUR DES PLANTS 45 JAS

L'analyse statistique des résultats a montré que les différentes méthodes d'application des engrais minéraux ont un effet significatif sur la croissance en hauteur des plants de cotonnier 45 JAS (Figure 1). La meilleure croissance en hauteur des plants de cotonnier a été observée avec le traitement T3. Ce traitement enregistré une hauteur moyenne de 67,73 cm, contre 53,83 et 54,4 cm respectivement pour le traitement T2 et T1 qui sont statistiquement égaux.

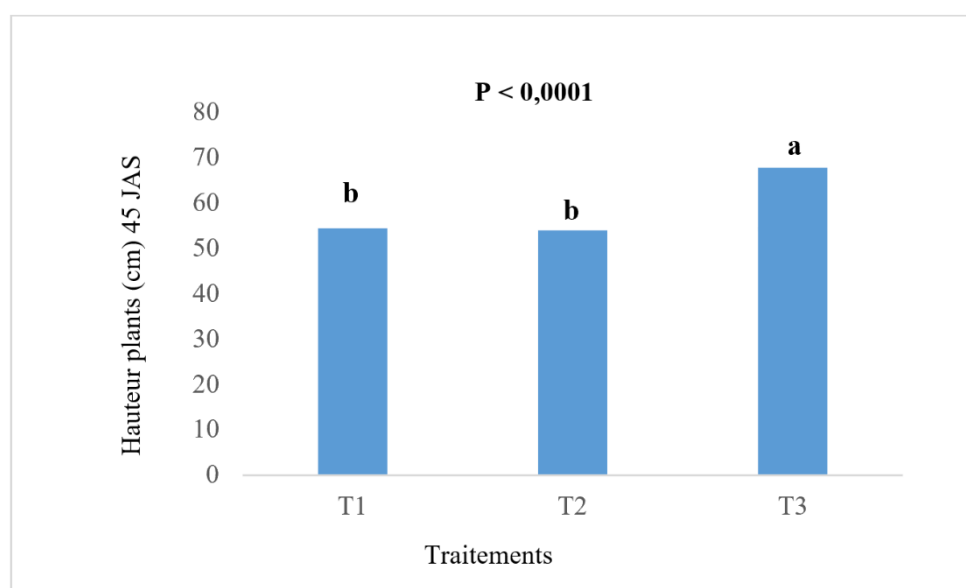


Fig. 1. Effet des traitements sur la hauteur des plants 45 JAS

Les moyennes suivies de la même lettre sont statistiquement identiques au seuil de probabilité de 5 % selon le test LSD de Fisher; JAS: jour après semis; T1: 0 kg/ha de NPKSB et urée; T2: 100 kg/ha de NPKSB et 30 kg/ha d'urée respectivement appliqués à 29 et 57 jours après le semis sans enfouissement; T3: 200 kg/ha de NPKSB et 50 kg/ha d'urée respectivement appliqués à 15 et 45 jours après le semis à poquet fermé.

3.2 IMPACT DE L'APPORT DES ENGRAIS SUR LA HAUTEUR DES PLANTS 60 JAS

Les résultats de l'analyse de la variance relatifs à la hauteur des plants de cotonnier 60 JAS ont révélé une différence significative entre les méthodes d'application des engrais minéraux (Figure 2). Le traitement T3 a induit la meilleure croissance en hauteur des plants soit une moyenne de 96,03 cm. Le traitement T1 et T2, statistiquement égaux, sont moins performants avec une moyenne respective de 78,63 et 82,47 cm.

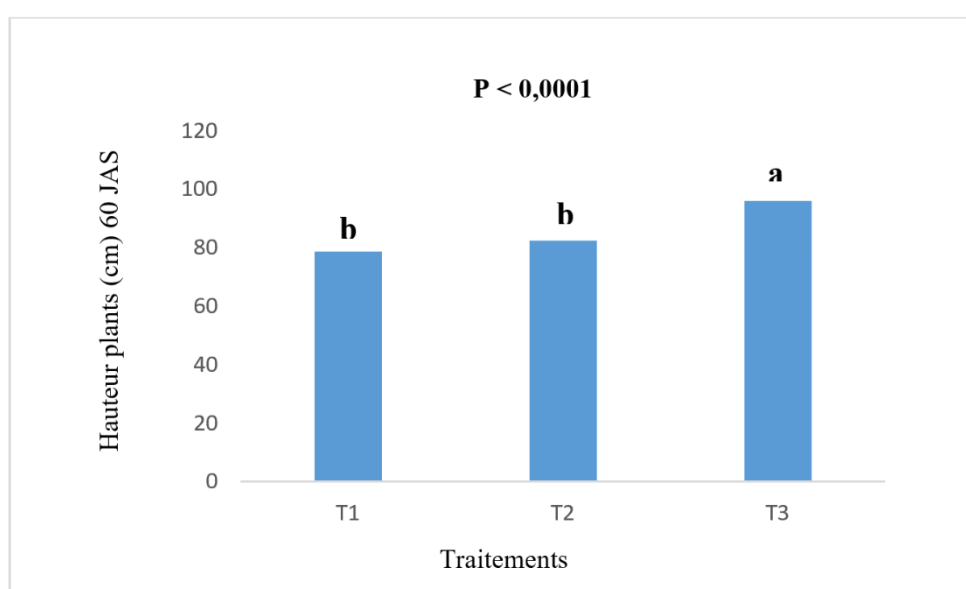


Fig. 2. Effet des traitements sur la hauteur des plants 60 JAS

Les moyennes suivies de la même lettre sont statistiquement identiques au seuil de probabilité de 5 % selon le test LSD de Fisher; JAS: jour après semis; T1: 0 kg/ha de NPKSB et urée; T2: 100 kg/ha de NPKSB et 30 kg/ha d'urée respectivement appliqués à 29 et 57 jours après le semis sans enfouissement; T3: 200 kg/ha de NPKSB et 50 kg/ha d'urée respectivement appliqués à 15 et 45 jours après le semis à poquet fermé.

3.3 IMPACT DE L'APPORT DES ENGRAIS SUR LE NOMBRE DE BRANCHES FRUCTIFÈRES PAR PLANT 65 JAS

L'analyse de variance des moyennes du nombre de branches fructifères par plant de cotonnier 65 JAS montre une différence significative entre les effets des méthodes d'application des engrais minéraux (Figure 3). Le nombre de branches fructifères par plant varie de 3,93 à 11,43 en fonction des méthodes d'application des engrais. Le nombre de branches fructifères par plant est plus élevé avec le traitement T3. Le traitement T1 et T2, statistiquement différents, sont moins favorables au développement des branches fructifères (respectivement 3,93 et 6,53 branches fructifères par plant) par rapport au traitement T3.

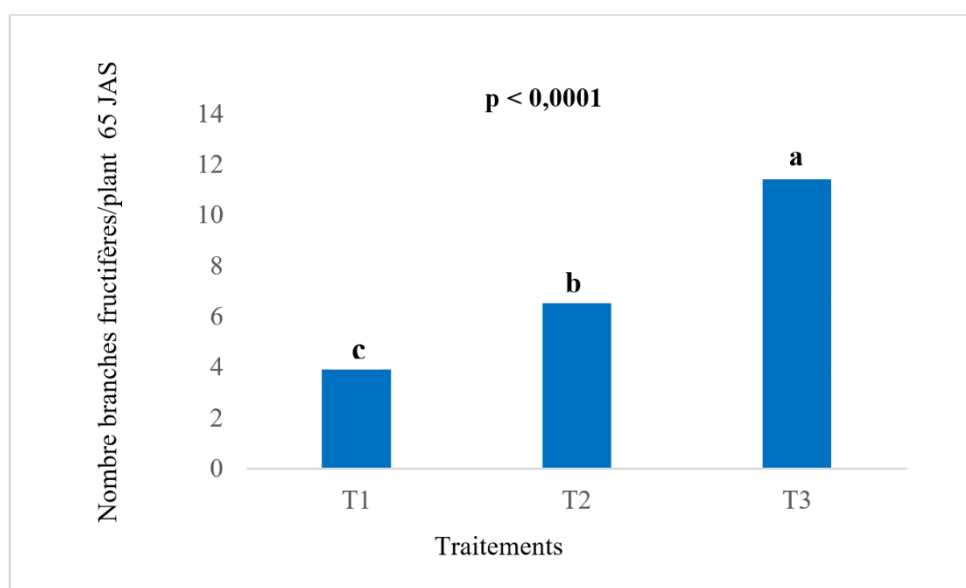


Fig. 3. Effet des traitements sur nombre de branches fructifères par plant 65 JAS

Les moyennes suivies de la même lettre sont statistiquement identiques au seuil de probabilité de 5 % selon le test LSD de Fisher; JAS: jour après semis; T1: 0 kg/ha de NPKSB et urée; T2: 100 kg/ha de NPKSB et 30 kg/ha d'urée respectivement appliqués à 29 et 57 jours après le semis sans enfouissement; T3: 200 kg/ha de NPKSB et 50 kg/ha d'urée respectivement appliqués à 15 et 45 jours après le semis à poquet fermé.

3.4 IMPACT DE L'APPORT DES ENGRAIS SUR LE NOMBRE DE BOUTONS FLORAUX PAR PLANT 65 JAS

Les résultats de l'analyse statistique indiquent une différence significative entre le nombre moyen de boutons floraux par plant 65 JAS obtenu des différentes méthodes d'application des engrais minéraux (Figure 4). La production optimale de boutons floraux par plant a été obtenue avec le traitement T3 soit 10. La plus faible production de boutons floraux par plant est induite par le traitement T1 et T2 qui sont statistiquement égaux avec une moyenne respective de 5,7 et 6,23.

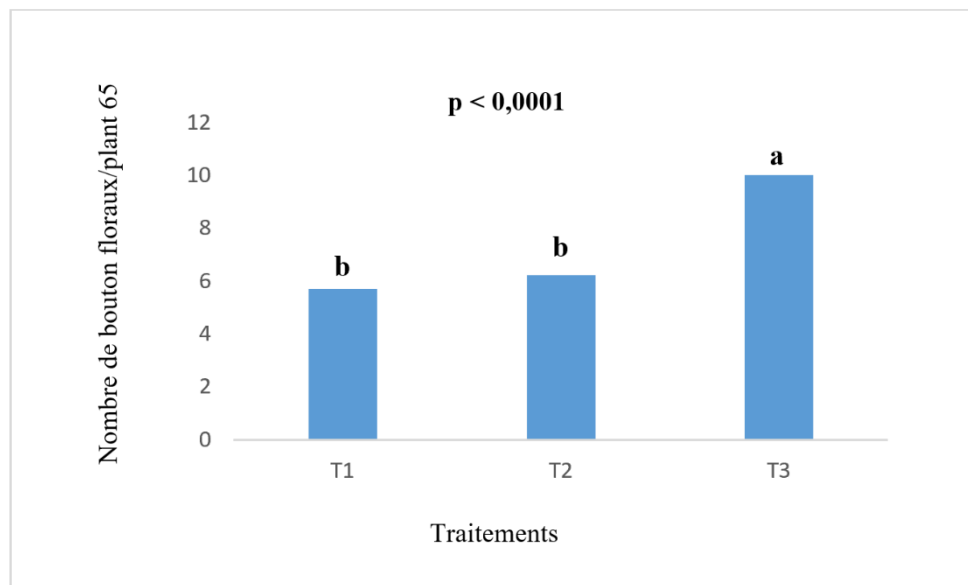


Fig. 4. Effet des traitements sur nombre de boutons floraux par plant 65 JAS

Les moyennes suivies de la même lettre sont statistiquement identiques au seuil de probabilité de 5 % selon le test LSD de Fisher; JAS: jour après semis; T1: 0 kg/ha de NPKSB et urée; T2: 100 kg/ha de NPKSB et 30 kg/ha d'urée respectivement appliqués à 29 et 57 jours après le semis sans enfouissement; T3: 200 kg/ha de NPKSB et 50 kg/ha d'urée respectivement appliqués à 15 et 45 jours après le semis à poquet fermé.

4 DISCUSSION

Les méthodes d'application des engrais minéraux ont influencé la croissance et le développement végétatif du cotonnier. Ainsi la méthode d'application recommandée des engrais (T3) a eu un effet positif sur les paramètres végétatifs du cotonnier. L'efficacité de ce traitement sur la croissance et le développement végétatif du cotonnier a été rapporté par divers auteurs [11, 12]. Lors de la présente étude, il est observé une faible hauteur des plants avec le témoin non fertilisé (T1). Par contre, la méthode d'application recommandée des engrais minéraux (T3) enregistre la hauteur la plus élevée comparativement à la méthode d'application paysanne des engrais minéraux (T2). Cette différence s'explique d'abord par le fait que lorsque les doses d'engrais (NPKSB et urée) sont élevées et plus les quantités de nutriments deviennent importantes. Ainsi ces grandes quantités d'engrais permettent à la culture d'avoir les éléments nutritifs nécessaires pour sa croissance et son développement [13]. Ensuite aux dates d'application des engrais NPKSB et urée (respectivement 15 et 45 JAS), les plantes sont vulnérables aux conditions édaphiques et aux aléas climatiques, faisant ainsi de ces dates une période critique pour la plante. L'apport des engrais est donc une nécessité en ces périodes car elle permettra à la plante d'avoir à sa disposition des ressources minérales nécessaires pour survivre et bien grandir [14]. Enfin l'épandage localisé des engrais minéraux à poquet fermé permet d'améliorer leurs efficacités par une bonne absorption, tout en limitant les pertes de nutriments. Par contre, l'application des engrais minéraux sans enfouissement permet la volatilisation de l'urée sous forme d'ammoniac (NH_3) [15]. Aussi, des phénomènes de toxicité ou de brûlure peuvent également survenir en cas de contact direct des engrais minéraux avec les plantules [16]. En ce qui concerne le nombre de branches fructifères et de boutons floraux par plant de cotonnier, il apparaît que la méthode d'application vulgarisée des engrais (T3) contribue à l'accroissement significatif de ces variables. Cela se justifie par le fait que le NPKSB et l'urée favorisent la libération rapide des éléments fertilisants nécessaires pour assurer le développement des jeunes organes (branches fructifères et boutons floraux). Ces éléments nutritifs sont apportés en grande quantité par des doses croissantes d'engrais minéraux d'où l'augmentation du nombre de branches fructifères et de boutons floraux.

5 CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif de déterminer la méthode d'application optimale de la fumure minérale en culture de coton. Les résultats ont révélé que la méthode d'application recommandée des engrais minéraux (T3) a eu un effet positif sur la croissance et le développement végétatif du cotonnier. Cela s'est traduit par l'augmentation de la hauteur des plantes, du

nombre de branches fructifères et du nombre de bouton floraux. Cependant entre la méthode d'application paysanne des engrais (T2) et le témoin non fertilisé (T1), il n'y a pas eu de différence significative pour l'ensemble des variables mesurées à l'exception du nombre de branches fructifères par plant. Ainsi, 200 kg/ha d'engrais coton (NPKSB) et 50 kg/ha d'urée respectivement appliquées 15 et 45 JAS à poquet fermé est la méthode d'application de la fumure minérale pour pallier à la faible productivité en cotonculture.

REFERENCES

- [1] Banque Mondiale. Les données ouvertes de la Banque mondiale, 2019.
[Online] Available: <http://www.banquemondiale.org> (consulté le 19/02/2019).
- [2] Ecofin. Agence d'Information Économique Africaine, 2018.
[Online] Available: <http://www.agenceecofin.com/coton> (consulté le 05/01/2019).
- [3] S.Y. Koffi, "Libéralisation de la filière coton en Côte d'Ivoire quinze ans après: empreinte spatiale et organisationnelle," Cinq Continents, Vol. 3, n°7, pp. 5-1, 2013.
- [4] N. Gergely. Le secteur cotonnier de la Côte d'Ivoire Côte d'Ivoire. Série de document de travail de la région Afrique, 2010.
[Online] Available: <http://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/27586> (consulté le 05/01/2020).
- [5] Intercoton. La filière coton de Côte d'Ivoire: importance et difficultés, 2010.
[Online] Available: <http://www.intercoton.org> (consulté le 01/05/2019).
- [6] D. Dakuo. Effets des types de sol et de la topographie sur l'absorption des ions K⁺ par le cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) dans les agro-systèmes soudanosaéliens de l'Ouest du Burkina Faso. Thèse de doctorat d'Etat ès-sciences naturelles, Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan, Côte d'Ivoire. 286 p, 2012.
- [7] V. Hauchart, "Le coton dans le Mouhoun (Burkina Faso), un facteur de modernisation agricole: perspectives de développement," Cahiers Agricultures, Vol. 15, n°3, pp. 285-291, 2006.
- [8] FAO/IMPHOS. Les engrais et leurs applications. Précis à l'usage des agents de vulgarisation agricole. Quatrième édition, Rabat, Maroc. 77 p, 2003.
- [9] Y.T. Brou. Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire. Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches, Université des Sciences et Technologiques de Lille, France. 212 p, 2005.
- [10] D.F. Dizoé. Analyse de l'impact de la vulgarisation agricole sur la performance économique des cotonculteurs de la sous-préfecture de Mankono en zone CIDT. Rapport de stage, 58 pp, 2007.
- [11] G.O. Ochou, E. N'Guessan, E. Koto, N. Niamien, Y. Ouraga, K.E. Téhia & Y. Touré. Bien produire du coton en Côte d'Ivoire. Fiche technique coton n°1, CNRA, Abidjan, Côte d'Ivoire. 4 p, 2006.
- [12] I. Kaboré. Itinéraires techniques recommandés et pratiques paysannes courantes dans la zone cotonnière Ouest du Burkina-Faso: cas du coton et du maïs. Mémoire du Diplôme de Master en Production Végétale, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina-Faso. 127 p, 2014.
- [13] A. Saidou, K.D. Gnakenou, I. Balogoun, S.R. Hounnahin & M.V. Kindomihou, "Effet de l'urée et du NPK 15-15-15 perlés et super granulés sur la productivité des variétés de riz IR841 et NERICA-L14 en zone de bas-fond au Sud-Bénin," Journal of Applied Biosciences, Vol. 77, pp. 6575-6589, 2014.
- [14] A. Miningou, V. Golané, A.S. Traoré & H. Kambiré, "Détermination de la dose et de la date optimales d'application de la fumure minérale sur le sésame (*Sesamum indicum* L.) au Burkina Faso," Int. J. Biol. Chem. Sci., Vol.14, n°9, pp. 2992-3000, 2020.
- [15] FAO. Produire plus avec moins d'intrant. Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne. 35 p, 2011.
- [16] A.A. Bandaogo. Effet de différentes sources d'azote sur la réponse de quatre variétés de riz à l'azote dans la Vallée du Kou au Burkina-Faso. Mémoire du Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) de l'Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina-Faso. 45 p, 2010.

Potentialités nutritionnelle et diététique des champignons sauvages comestibles rencontrés sur le marché à Lubumbashi (RDC)

[Nutritional and dietetic potentiality of edible wild mushrooms sold on Lubumbashi market (DRC)]

Kanga-Kanga Mfuni R.¹, Ilunga Ndala Wa Ngoie A.², Ngoie Nsenga G.¹, Kahenga Mwana Mwamba M. J.¹, Badibanga Kasumpa D.¹, and Kahazi Sumba J.^{1,2}

¹Département Science des aliments (CRAA), Lubumbashi, RD Congo

²Université de Lubumbashi (UNILU), RD Congo

Copyright © 2021 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 research aims at making available the nutritional dietetic information about edible mushrooms. It shows the results of the study carried out for the chemical description of ten species of mushroom gathered in the forest Miombo in the province of Haut-Katanga and sold on the market of Lubumbashi.

The results from this analysis show that these mushrooms have higher nutritional dietetic potential:

- Very rich in minerals with potassium at the top;
- Proteins vary from 12 to 42 g to 100g of dry sample;
- The K/Na ratio is by far higher than 1 and very low in lipids.

And it would be better to be associated with other foods to make and diversify the menus indispensable to the needs of life and human health.

KEYWORDS: Ash, mineral, protein, fat, food, standard.

RESUME: La présente recherche a visé de rendre disponible les informations nutritionnelles et diététiques relatives aux champignons comestibles; elle présente les résultats de la caractérisation chimique de dix espèces de champignons récoltés dans la forêt de Miombo du Haut-Katanga et vendus sur le marché à Lubumbashi/RDC.

De l'analyse de ces résultats, il en résulte que ces champignons possèdent un grand potentiel nutro-diététique:

- Très grande richesse en minéraux avec le potassium en tête;
- Protéines varient de 12 à 42 g pour 100g d'échantillon sec;
- Le rapport K/Na est très supérieur à 1 et très pauvre en lipides.

Et conviendrait d'être associés à d'autres aliments pour constituer et diversifier des menus indispensables aux besoins de la vie et de la santé humaine.

MOTS-CLÉS: Cendre, minéral, protéine, matière grasse, aliment, norme.

1 INTRODUCTION

Les champignons comestibles sont des aliments consommés à travers le monde et depuis de longues dates [1], [2], [3].

Leur principal intérêt nutritionnel repose sur une richesse en éléments minéraux supérieure à celle des autres végétaux. Ils représentent également une importante source de vitamines du groupe B, de glucides et protéines.

Déjà au V^e siècle avant Jésus Christ, Hippocrate cité par J-L Yaich dans « Savoir maigrir » [4], parle du rôle thérapeutique de certains champignons.

Par leur apport alimentaire et socio-économique, un certain nombre des recherches ont été menées et publiées à travers le monde, en Afrique et particulièrement en R.D.C; notamment sur la domestication des champignons [5], la diversité et l'inventaire [3], [5], [6], [7], l'utilisation et importance des champignons [8], [9], [10], [11], [12], etc.

Curieusement, les travaux antérieurs, en l'occurrence celui de Ramon C. Gelabert intitulé « Guide pratique de la santé » relatif au traitement scientifique et naturel de la dépression [13], ne font aucune allusion aux champignons parmi les aliments recommandés sachant que les vitamines du groupe B sont indispensables au système nerveux et aussi que les champignons ne contiennent pas de graisse. Charles Gerber dans son ouvrage intitulé « Cuisine et diététique » propose quelques recettes des champignons de Paris [14];

Alors que dans « les combinaisons alimentaires et votre santé » [15], les champignons ne sont pas évoqués, de même pour Chantecler qui répertorie les aliments et leurs composants [16], la diversité des champignons sauvages comestibles de la forêt de Miombo du Haut-Katanga, et même de la France, n'a pas trouvé sa place de choix.

Dans l'ouvrage intitulé « Santé par les aliments » [17], le pratiquant n'est pas situé par rapport aux champignons et le cancer. Nous ferons aussi allusion aux « 100 recettes pour 4 saisons » [18], où un accent est mis sur le rôle anti-oxydant du sélénium que contiendraient les champignons [19].

Ainsi, cet état de lieu des informations scientifiques concernant les champignons comestibles, non seulement qu'il est déficitaire et lacunaire à l'échelle planétaire, mais il faut préciser en particulier qu'il ne couvre pas, du point de vu nutro-diététique, ceux consommés à Lubumbashi dont plus de 87 espèces sont répertoriées et identifiées. Ce qui n'est pas favorable à la possibilité d'intégration de ces aliments dans les rations alimentaires équilibrées. C'est donc dans le but de vouloir baliser et faciliter la consommation de la diversité des champignons sauvages comestibles de la forêt claire de la Miombo du Haut-Katanga, ainsi que dans la logique de satisfaire strictement et rationnellement les légitimes besoins nutro-diététiques que la présente recherche intitulée « **Potentialités nutritionnelle et diététique des champignons rencontrés sur le marché à Lubumbashi** », est menée.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL

2.1.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les champignons constituent le matériel végétal de cette étude. Il s'agit des espèces de champignons sauvages comestibles de la forêt claire de Miombo du Haut-Katanga [11] et vendus sur le marché à Lubumbashi.

La collecte des échantillons de notre étude a eu lieu grâce à un nombre d'équipement dont des sachets en plastiques IDA pour la conservation des échantillons séchés de champignons et autre matériel ci-après.

2.1.2 AUTRE MATÉRIEL

Pour les analyses, nous nous sommes servi du matériel ci-après:

- Etuve HERAEUS
- Four à moufle
- ICP 8300 de marque prolabo
- Tamis 315µm de mailles
- Soxhlet
- Bain marie de marque Salvis
- Balance de précision de marque HRB- E 1002
- et verrerie du laboratoire

2.2 METHODES

L'approche méthodologique se présente de la manière suivante:

- Recherche bibliographique pour établir un état de lieu;
- Achat sur place à Lubumbashi et collecte des échantillons de champignons sauvages comestibles consommés à Lubumbashi;
- A l'aide des publications [3], [11], procéder à l'identification scientifique du matériel végétal;
- Et analyses chimiques des champignons dont:

La détermination de l'humidité a été faite par séchage des échantillons à l'étuve réglée à 105°C jusqu' au poids constant [20];

Les cendres totales ont été déterminées par calcination à 550°C durant 8heures dans un four à mouffle (méthode 923. 03; AOAC, 1990) [21];

Pour quantifier les éléments minéraux, nous nous sommes servi de l'ICP 8300;

La détermination des protéines brutes a été faite en dosant l'azote total selon la méthode Kjeldhal [21]. La teneur en protéines brutes était déterminée à l'aide de la relation suivante: % P.B= % N x 6,25 où % P.B = teneur en protéines brutes, % N = teneur en azote total de l'échantillon et 6,25 = facteur de conversion de la teneur de l'azote en protéines.

Les lipides ont été extraits par soxhlet selon la méthode de Weiball [22];

La détermination des glucides totaux a été faite par la colorimétrie [23] et calculée à l'aide de la relation suivante: Q.I = D.O.X 160/0,0072 X 1000 où Q.I = quantité des sucres dans l'échantillon en g/100g, D.O = la densité optique de l'échantillon évaluée à 390 nm.

3 PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

3.1 PRESENTATION DES RESULTATS

Tableau 1. Résultats de l'identification et de la caractérisation des champignons comestibles consommés à Lubumbashi

Noms vernaculaires	Nom scientifique	Caractéristique en g pour 100g du poids sec					
		Humidité	Cendres	Matières grasses	Protéines	Glucides	Cellulose
- Busepa (Bemba, kaonde, lamba, Sanga) - Kahaha (luba), - Kashiki bowa (tabwa, - Bukolokoto (Kikongo)	<i>Schizophyllum Commune Fr.</i>	6,5	10,0	1,5	14,0		1,0
- Mayebo matoyi (Lingala), - Kilebu (Kikongo)	<i>Auricularia cornea</i>	3,5	10,0	0,1	12,4	65,0	0,0
- Pampé (bemba, lamba), - Kimpape (kaonde) - Kimiku (Luba), - Kimunge (Sanga) - Kisukwe (tabwa), - Udja (Tshokwe)	<i>Lactifluus gymnocarpus</i>	8,5	8,0	1,0	32,0		1,0
- Kabansa (bemba, lamba), - Kabanse (Kaonde) - Kabansa bansa (sanga), - Kapaza (Tabwa) - Bansa (tshokwe), - Ufuka (tshokwe), - Mongo (Kuba)	<i>Lactorius Kabansus</i>	12,0	10,3	3,5	42,9		1,0
- Musemfwe (Kitabwa), - Kimpukutu (Kitemba)	<i>Cantharellus Stramineus</i>	9,5	17,5	1,5	29,2		
- Bwitondwe (bemba, lamba), - Butondo (bemba, kaonde, lamba), - Ntundwe (luba), - Bupukulu (sanga), - Lutondo (tabwa), - Burushu (Tshokwe)	<i>Cantharellus densifolius/ afracibarius</i>	1,5	10,0	2,0	35,6		
-Bwitondwe (bemba, lamba), - Butondo (bemba, Kaonde, lamba), - Ntundwe (luba), - Bupukutu (sanga), - Lutondo (tabwa), - Burushu (tshokwe)	<i>Cantharellus mikeboensis</i>	5,5	30,0	2,0	22,8		
- Ntente (bemba, lamba, sanga, tabwa), - Telya (bemba, lamba, sanga), - Ndelema (bemba, kaonde, lamba) - Bundelema (kaonde), - Ndelende (luba) - Seneja (luba), - Walenda (tshokwe)	<i>Amanita loosi</i>	10,0	9,5	3,0	25,7		
- Djibele boya (luba), - Munya (lamba)	<i>Russula Cellulata</i>	4,0	12,5	0,5			
- Kansangwanyanya (Kiluba)	<i>Termitomyces microcarpus</i>	11,0	8,0	3,0	42,2		

Tableau 2. Composition en éléments minéraux des champignons

Nom scientifique du champignon	Eléments minéraux en mg/Kg															
	Al	As	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Se	Zn
Norme de l'UE	8,50			2,00	1,00	150,00	20,00	450,00			10,00		10,00	3-10,0		100
<i>Schizophyllum commune</i> Fr.	671,80	-0,09	205,4	2,85	4,76	3,04	302,40	604,80	30450	858,20	17,20	1551,00	1,55	-0,83	-23,05	62,62
<i>Auricularia Cornea</i>	358,50	-13,70	364,6	0,64	1,64	3,18	208,40	541,00	34660	1262,0	17,56	1217,0	1,40	4,79	-30,49	75,18
<i>Lactifluus gymnocarpus</i>	148,60	-2,04	453,6	0,57	0,93	1,57	95,00	253,30	10360	1297,0	38,32	970,60	0,85	-2,86	-35,17	32,61
<i>Lactarius Kabansus</i>	98,40	-6,70	798,3	0,22	-0,16	1,19	72,13	189,20	14350	1618,0	39,32	605,10	0,40	-4,88	-36,91	-5,62
<i>Cantharellus stramineus</i>	502,40	-15,49	284,5	5,79	1,44	12,08	275,80	767,70	18340	986,00	46,21	1080,0	0,73	1,90	-39,33	85,61
<i>Cantharellus densifolius/afrocib</i>	1217,00	2,15	959,5	1,19	2,63	5,85	246,70	2555,00	31010	947,80	155,40	786,00	3,25	2,03	-48,90	175,5
<i>Cantharellus mikeboensis</i>	3175,00	-6,63	371,0	3,76	4,92	22,98	200,00	6154	44260	1104,00	50,30	1614,00	1,49	23,42	-35,55	69,12
<i>Amanita loosii</i>	282,90	-7,45	177,8	5,14	3,24	3,08	243,10	507,50	23990	742,70	28,70	944,20	1,28	8,56	-17,86	76,53
<i>Russula cellulata</i>	845,80	-0,70	108,6	5,01	1,15	2,95	179,00	901,60	39170	918,10	16,71	616,20	1,06	-2,03	-14,84	67,13
<i>Termitomyces microcarpus</i>	698,80	-6,77	830,2	5,02	2,43	21,53	210,40	1106,0	49030	1508,0	52,97	938,20	1,97	-0,89	-29,70	69,10

3.2 DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Naturellement, les champignons frais contiennent beaucoup d'eau; mais nous avons procédé au séchage pour effectuer les tests sur l'extrait sec dont l'humidité résiduaire dans l'ensemble demeure inférieure à 10%; sauf pour *Lactarius Kabansus* (12%) et *Termitomyces microcarpus* (11%). Ce sont des seuils compatibles à la conservation à condition d'utiliser un emballage approprié et d'entreposer à un endroit idéal.

La teneur en cendres des champignons analysés varie d'un peu moins de 10 à 30%; Ce qui témoigne de la richesse en éléments minéraux dépendant de l'espèce, de l'état de maturité et même du pouvoir bio accumulateur et dont le tableau n°2 définit la composition.

La teneur en matières grasses des champignons analysés varie entre 0,1 (*Auricularia cornea*) et 3,5% du poids sec (*Lactarius Kabansus*). Nous trouvons pratiquement pour *Schizophyllum commune* le même résultat de 1,5% que [11] qui trouva une moyenne de 8-10% pour *Amanita loosii*.

La teneur en protéines des champignons analysés varie de 12,4% du poids sec (*Auricularia Cornea*) à 42,9% pour (*Lactarius Kabansus*, *Termitomyces Microcarpus*). La référence [11] confirme que le genre *Termitomyces* a généralement des teneurs totales en protéines très élevées. Elles dépassent les 30 -50% du poids sec chez *Termitomyces microcarpus*. De même pour le taux de 14 % en protéines de *Schizophyllum commune* que nous venons de trouver.

Concernant l'analyse de la composition minérale des champignons, [11] révèle, sans avancer les valeurs, qu'ils sont riches en K et Fe et faible teneur en Ca et Na. Mais, nous pouvons confirmer avec nos résultats qu'ils sont très riches en K (10360mg/Kg pour *Lactifluus gymnocarpus* et 49030mg/Kg pour *Termitomyces microcarpus*) et faible teneur en Na dans le même échantillon et variant de 605,1mg/Kg pour *Lactarius Kabansus* et 1614mg/Kg pour *Cantharellus mikeboensis*. Ce qui établit un équilibre très recherché sur le plan diététique pour le bon fonctionnement du cœur.

La présence du sélénium qui entre dans la composition des nombreux enzymes aux propriétés anti-oxydantes et joue le rôle protecteur vis-à-vis des maladies cardio-vasculaires et certain cancer est observée dans les échantillons des champignons.

La teneur en fer est non négligeable et varie de 189,2mg/Kg du poids sec pour *Lactarius Kabansus* à 6154 mg/Kg de poids sec pour *Cantharellus mikeboensis*. Il servirait de stimulant de la défense de l'organisme.

Mg et Zn: sont meilleurs anti-infectieux et renforcent le système immunitaire;

Il convient de préciser que les champignons ont une digestion lente et parfois lourde en raison de la chitine qu'ils contiendraient et des caractéristiques de leurs protéines qui seraient riches en acide nucléique [17].

En rapport avec la présence des métaux lourds c'est-à-dire les teneurs en Al, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, et Zn, nous constatons que, par exemple pour *Amanita loosii* et *Cantharellus densifolius*, les valeurs trouvées sont, si pas de même ordre de grandeur, supérieures: cas de Al (282,9mg/Kg et 1217mg/Kg respectivement pour *Amanita Loosii* et *Cantharellus densifolius*; du Cu (243,1 et 246,7mg/kg respectivement pour *Amanita loosii* et *Cantharellus densifolius*); du Fe (507,5 et 2555 mg/Kg respectivement pour *Amanita Loosii* et *Cantharellus densifolius*); du Mn (155,4mg /Kg pour *Cantharellus Densifolius*) et du Zn (175,5 mg/Kg pour *Cantharellus densifolius*).

Dans l'ensemble, se référant aux normes admises dans l'Union Européenne, la teneur en:

- Al: est très supérieure à celle de la norme;
- Cd: au moins cinq qui dépassent la norme dont *Termitomyces microcarpus*, *Russula Cellulata.*, *Amanita Loosii*, *Cantharellus mikeboensis* et *Cantharellus stramineus*;
- Co: seules deux dépassent assez largement la norme dont *Cantharellus mikeboensis* et *Schizophyllum*;
- Cr: est largement inférieure à la norme;
- Cu: est largement supérieure à la norme;
- Fe: deux sont largement supérieure à la norme dont *Termitomyces microcarpus* et *Cantharellus mikeboensis*;
- Mn: une est très largement supérieure, il s'agit de la teneur de *Cantharellus densifolius*;
- Ni: largement inférieure à la norme;
- Pb: seule celle de *Cantharellus mikeboensis* est supérieure à la norme;
- Zn: seule celle de *Cantharellus densifolius* dépasse le seuil de la norme.

La composition minérale des champignons sauvages comestibles de la forêt claire de la Miombo du Haut-Katanga révèle, au regard des normes de l'Union Européenne, que tous ont une teneur en cuivre et en aluminium supérieure à celles-ci. Le risque d'intoxication en ordre décroissante serait comme suit: *Cantharellus mikeboensis* (Al, Cu, Cd, Co, Fe et Pb), *Cantharellus densifolius* (Al, Cu, Mn, et Zn), *Termitomyces microcarpus* (Al, Cu, Fe, Cd), *Schizophyllum* (Al, Cu, Co), *Amanita loosii* (Al, Cu, Cd), *Cantharellus Stramineus* (Al, Cu, Cd), etc.

Nous pouvons dire que cette configuration pourrait être tributaire d'un certain nombre des facteurs, notamment, la bioaccumulation qui est en étroite relation avec la nature du métal et dépendant de l'espèce de champignon et du site de ramassage.

4 CONCLUSIONS

Cette étude présente les potentialités nutro-diététiques dont regorgent les champignons, cas des champignons sauvages comestibles vendus sur le marché à Lubumbashi /R.D.C. En effet:

1. Les champignons comestibles sont des aliments au rang des légumes dont:

- La teneur en protéines varie de 12 à 42 g pour 100 g d'échantillon sec et qui seraient riches en acides aminés soufrés (Méthionine et cystéine dont la carence provoque des troubles des phanères) et pauvres en tryptophanes;
- La teneur en fibres alimentaires de 1,0 g pour 100 g est confirmée aussi par [17].; En effet, les fibres jouent un rôle extrêmement important dans la digestion du fait notamment des pectines, des celluloses, des gommes, etc qu'ils contiendraient; Toutefois, notons que la digestion des champignons est lente et parfois lourde en raison de la chitine qu'ils contiendraient et des caractéristiques de leurs protéines qui seraient riches en acides nucléiques;
- Pauvres en lipides, riches en glucides et très riches en vitamines et oligo-éléments;
- Présentant une très grande richesse en sels minéraux selon les variétés et espèces dont le K est en tête.

2. Les champignons sont particulièrement utiles dans la diétético-thérapie:

- Par leur richesse en éléments minéraux et en vitamines du groupe B et ne contenant pas de graisses, ils constituent un aliment idéal contre la dépression. Le rapport K/Na est très supérieur à 1; c'est donc un des rares aliments compatibles au bon fonctionnement du cœur;
- Les champignons sauvages comestibles sont des aliments idéaux et préventifs du cancer suite à leur richesse en vitamines du groupe B, vitamine C, vitamine D, vitamine PP et vitamine H et à la présence des éléments phyto-chimiques et enfin, la présence du sélénium qui passe pour un anti oxydant, renforce non seulement le pouvoir préventif à l'égard du cancer, mais aussi il contribue au ralentissement du vieillissement et joue un rôle dans les fonctions du foie.

REFERENCES

- [1] M. Montignac: Je mange donc je maigris, ou les secrets de la nutrition, 4^e édition, édition Artulen, Paris, 1992.
- [2] M.F. Madamo, A. Lubini, F. Lukoki et E. Kidikwadi: Champignons comestibles de la région de Kikwit en RDC; Approche écologique, nutritionnelle et socio-économique, International Journal of Innovation and Applied Studies, vol 21, n°1, pp 124-136, 2017.
- [3] F. Massart: Les champignons, où et quand les trouver. Édition Sud-Ouest, France, 1996.
- [4] J-L. Yaïch: Savoir maigrir, dictionnaire des aliments et des calories, presse de la Renaissance, Paris, 1988.
- [5] N. Thi Nguyen: Culture des champignons à Cho Don (Viet Nam): Pleurote, programme fleuve rouge, 2019.
- [6] K. Wa Ngoy, K. Bill, A. De Kesel, J. Degreel: Diversité des champignons sauvages comestibles de la forêt claire de Miombo du Haut-Katanga, RDC.
- [7] Kasongo Wa Ngoy, Kashiki Bill (2017): Productivité et valorisation des champignons sauvages comestibles de la forêt claire de type Miombo (Haut Katanga, RDC), Unilu, thèse, 2017.
- [8] E.R. Boa: Champignons comestibles sauvages; vue d'ensemble sur leur utilisation et leur importance pour les populations. Produits forestiers non ligneux, volume 17, FAO, Rome, 2006.
- [9] D. Thoen, G. Parent et T. Lukengo: L'usage des champignons dans le Haut-Katanga. Bulletin trimestriel du CEPSE, Problèmes sociaux zaïrois 100-101; 69-85. 153, 1973.
- [10] B. Toirambe: Analyse de l'état des lieux du secteur des produits forestiers non ligneux et évaluation de leur contribution à la sécurité alimentaire en RDC. GCP/RAF/398/GER: rapport de consultation, pp 76, 2007.
- [11] A. De Kesel, B. Kasongo, G. Degreel: Champignons comestibles du Haut Katanga (RDC), volume 17, Belgique, 2017.
- [12] R.C. Gelabert: Dépression, Traitements scientifique et naturel, édition Vidasana, guide pratique de la santé, première édition, 2007.
- [13] Temasoa Yvanna: Les vertus d'*Auricularia auricula judae* (*Auricularia cornea*), mémoire master 1, université de Mahajanga, République Madagascar, 2011. .
- [14] Charles Gerbert: Cuisine et diététique, guide pratique de la vie, Edition Sdt, France, 1976.
- [15] H.M. Shelton: Les combinaisons alimentaires et votre santé, quatrième édition, Paris, 1988.
- [16] Chantecler: Les aliments et leurs composants, Belgique, 1991.
- [17] Georges Pamplona-Ronger: Santé par les aliments, nouveau style de vie, éditorial safeliz, chine, 2010.
- [18] Paul Jacquet de Haveskercke: 100 recettes pour 4 saisons, guide-santé.
- [19] Christian Dudouet, Victor Renaud (2018): Traité rustica du potager, édition rustica, 2018.
- [20] Dufey F.: Biologie cellulaire, Ed-CRP, Kinshasa, 1986.
- [21] Groegaert: Recueil des modes opératoires en usages au laboratoire d'analyse de l'INEAC, Bruxelles, 1958.
- [22] F.C BUKATUKA, K.N Ngombe, K.P Mutwale, B.M Moni, K.G Makengo, L.A Pambu, N.G Bongo, M.P Mbombo, M.D Musuya, U. Malouéki, K.N Ngbolua, F.T Mbemba: Bio activity and nutritionnel Values of some *Dioscorea* species traditionally used as medecinal Foods in Bandundu, D.R Congo, European Journal of Medecinal Plants, vol 14, n°1; pp 1-11.
- [23] M. Dubois, K.A Gilles, P.A Hamilton, A. Ruberg, F. Smith: Colorimetric Method for Determination of Sugars and related Substances, analytical Chemistry, 1956.

Evaluating the Predictive Accuracy of Heston Stochastic Volatility Model for Currency Options using Local and Global Calibration

Mohammed Bouasabah

National school of business and management, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco

Copyright © 2021 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 paper analyses the implementation and calibration of the Heston Stochastic Volatility Model. We first introduce the model, provides theoretical motivation for its robustness and hence popularity and explain how characteristic functions can be used to estimate option prices. Then we consider the implementation of the Heston model, showing that relatively simple solutions can lead to fast and accurate currency option prices. In this work, we perform several tests, using both local and global calibration to evaluate the Predictive Accuracy of the Heston Stochastic Volatility Model for currency options. Our analyses show that straightforward setups deliver excellent calibration results. All calculations are carried out in MATLAB and included in the paper. All the MATLAB's codes required to implement the model are provided in the appendix A.

KEYWORDS: Heston Model; Currency option; MATLAB Calibration; Local calibration; Global calibration.

1 INTRODUCTION

The Garman-Kohlhagen model has been adopted as the standard model for pricing foreign currency options as it is a modification of the famous, Black-Scholes model (1973). However, this method is based on several assumptions that are not representative of the real world. In particular, the Garman-Kohlhagen model assumes that volatility is deterministic and remains constant through the option's life, which clearly contradicts the behavior observed in financial markets. During the last decades several alternatives have been proposed to improve volatility modelling in the context of derivatives pricing. One of such approaches is to model volatility as a stochastic quantity. By introducing uncertainty in the behavior of volatility, the evolution of financial assets can be estimated more realistically. In addition, using appropriate parameters, stochastic volatility models can be calibrated to reproduce the market prices of liquid options and other derivatives contracts. One of the most widely used stochastic volatility models today was proposed by Heston in 1993. In the Heston model, volatility is assumed to be stochastic and is defined by a stochastic differential equation. The success of the Heston model is based on the calibration of its parameters.

In this paper we analyze the valuation of foreign currency options using the Heston model. Our aim is to illustrate the use of the model, with an emphasis on the implementation and calibration, and to make it a better suited foreign currency option pricing model for the FX market using both local and global optimization. First, we introduce the Heston model and discusses the implementation of its closed-form solution. Secondly, we introduce both local and global calibrations methods and finally, we analyze the calibration problem, considering both local and global optimization methods. For all relevant sections, generic and ready-to-use MATLAB's codes have been developed to illustrate the use of the MATLAB routines.

2 THE HESTON MODEL

In this paper the main model used in determining the price for a currency option is the Heston model (1993), which assumes that the process S_t follows a lognormal distribution, and the process V_t follows a Cox-Ingersoll-Ross process (CIR process) (1985). The model is given as:

$$dS_t = (r_d - r_f)S_t dt + \sqrt{V_t}S_t dB_t \quad (2.1)$$

$$dV_t = \kappa(\theta - V_t)dt + \sigma\sqrt{V_t}dZ_t \quad (2.2)$$

$dB_t dZ_t = \rho dt$ and the variables:

r_d and r_f are the domestic and foreign interest rates respectively.

θ is the long-term mean of variance.

κ is the rate of mean reversion.

σ is the volatility of volatility.

S_t and V_t are the price and volatility of the process

B_t and Z_t are correlated Wiener process, and the correlation coefficient is ρ .

The variance of the CIR process is always positive and $2\kappa\theta > \sigma^2$ (Feller condition) [4], then it cannot reach zero. It is assumed that the interest rate is a constant, hence r_d and r_f are fixed values.

2.1 CLOSED-FORM SOLUTION OF THE HESTON MODEL

When markets are complete and arbitrage-free, currency option values can be calculated as the present value of their expected payoff under the risk-neutral measure:

$$E^*[S_t/S] = Se^{(r_d - r_f)t} \quad \text{Where: } S = S_0$$

Under the equivalent martingale measure, the dynamics of the Heston model equation defined by equations (2.1) and (2.2) are given by the following set of stochastic differential equations [6]:

cite

$$dS_t = (r_d - r_f)S_t dt + \sqrt{V_t}S_t d\bar{B}_t \quad (2.3)$$

$$dV_t = \kappa^*(\theta^* - V_t)dt + \sigma\sqrt{V_t}d\bar{Z}_t \quad (2.4)$$

Where $d\bar{B}_t d\bar{Z}_t = \rho dt$

Each stochastic volatility model will have a unique characteristic function that describes the probability density function of that model. Heston and Nandi [9] utilize the characteristic function of the Heston model when proposing the following formula for the fair value of a currency call option at time t , given a strike price K , that expires at time T :

$$C(S, v, t) = Se^{-r_f \tau} P_1 - Ke^{-r_d \tau} P_2$$

where $\tau = T - t$, P_1 and P_2 can be defined via the Fourier Inversion Transformation method:

$$P_j = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \int_0^\infty \text{Re} \left[\frac{e^{-i\psi \ln K} f_j(x, v, \tau, \psi)}{i\psi} \right] d\psi$$

Where $j=1,2$. And the characteristic function for the logarithm of exchange rate, $x = \ln(S_t)$ is given by [11]:

$f_j(x, v, \tau, \psi) = e^{C(\tau, \phi) + D(\tau, \phi)v_t + i\phi x}$ Where:

$$C(\tau, \phi) = (r_d - r_f)\phi i\tau + \frac{a}{\sigma^2} [(b_j - \rho\sigma\phi i + d)\tau - 2\ln \left(\frac{1 - ge^{d\tau}}{1 - g} \right)]$$

$$D(\tau, \phi) = \frac{b_j - \rho\sigma\phi i + d}{\sigma^2} \left(\frac{1 - e^{d\tau}}{1 - ge^{d\tau}} \right)$$

$$g = \frac{b_j - \rho\sigma\phi i + d}{b_j - \rho\sigma\phi i - d}$$

$$d = \sqrt{(\rho\sigma\phi i - b_j)^2 - \sigma^2(2u_j\phi i - \phi^2)}$$

$$u_1 = \frac{1}{2}; u_2 = -\frac{1}{2}; a = \kappa\theta; b_1 = \kappa\lambda - \rho\sigma; b_2 = \kappa + \lambda$$

To find the price for a put option we use the call/put parity theorem and the price of the put option is:

$$P(S, v, t) = C(S, v, t) - Se^{-rf\tau}P_1 + Ke^{-rd\tau}P_2$$

Remark: the Heston characteristic function can be easily evaluated using numerical software. The function characteristic (characteristic.m), provided in the appendix A, shows how to compute the Heston characteristic function in MATLAB [3].

3 METHODOLOGY

3.1 CALIBRATION TO MARKET PRICES

3.1.1 CALIBRATION PROCEDURE IN THE HESTON MODEL

There are five parameters $v, \kappa, \sigma, \theta$ and ρ that need to be estimated in the Heston model. The change for each parameter will bring a big impact on the correctness of the model, so the estimation of parameters becomes very important. A variety of methods can be chosen. For instance, one can observe the real market data, and use statistic tool to fit data in the Heston model (Ait-Sahila & Kimmel, 2005) [1]. Monte Carlo simulation is another famous method to do the calibration. In this study we use a commonly used method called the Inverse Problem, which means that the data is collected from the real market first, and then used to estimate parameters. The most popular approach to solving this inverse problem is to minimize the error or discrepancy between Heston model prices and real market prices. This usually turns out to be a non-linear least-squares optimization problem. More specifically, the squared differences between European currency option market prices and that of the model are minimized over the parameter space. Assume is a set of realization for the parameters in the Heston model. For a call option that is calculated from the Heston model, the optimization problem can be described as:

$$\text{Min } S(\Omega) = \min (\Omega) \sum_{i=1}^N (C_i^H(K_i, T_i) - C_i^M(K_i, T_i))^2$$

Where Ω is a vector of parameter values $C_i^H(K_i, T_i)$, and $C_i^M(K_i, T_i)$ are the i currency option prices from the model and market, respectively, with strike K_i and maturity T_i . N is the number of options used for calibration. Minimizing the objective function is clearly a nonlinear programming (NLP) problem with the nonlinear constrain $2\kappa\theta - \sigma^2 > 0$. Unfortunately, this function is far from being convex and it turned out, that usually there exist many local extrema depending on the initial guess. Therefore, a good initial guess might be critical and, even then, in some cases the convergence to the global optimum is not guaranteed. As a consequence, we decide to try both local and global optimizers.

4 LOCAL OPTIMIZATION

When a function exhibits several minima, local optimizers face the problem that once a solution has been found, we cannot be sure whether such solution is the best available. In other words, we cannot distinguish if the solution is a local minimum or a global one, or consequently, if we have reached a local solution, there is no easy way to measure how far we are from the global one. An alternative to tackle this problem is to define a criterion for acceptable solutions. If we select a priori which solutions can be deemed acceptable, we can at least ensure that any accepted solution will be consistent with our tolerance bounds. Conversely, if we found a non-acceptable solution, we can run the algorithm with a different starting point and keep searching for solutions that comply with our criteria [7].

In our tests, we will require that the difference between model and market prices falls on average within the observed bid-ask spreads. Therefore, we will consider the following set of acceptable solutions:

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |C_i^H(K_i, T_i) - C_i^M(K_i, T_i)| \leq \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N |bid_i - ask_i|$$

bid and ask are the market observed bid and ask prices.

As a local optimizer we will use the MATLAB lsqnonlin function (least-squares non-linear) [13], which implements a trust-region reflective minimization algorithm (See Yuan (1999) [10] for an overview on the use of trust-region algorithms for solving non-linear problems). In addition, we will also define lower and upper bounds for the optimal parameters. These thresholds are included in the calibration in order to avoid possible solutions that, while mathematically feasible, are not acceptable in an economic sense. In particular, we will use the following bounds [8]:

- **Long-term variance and initial variance:** Acceptable solutions for variance levels should take a possible value. However, given its mean-reversion, the volatility of most financial asset rarely reaches levels beyond 100%. Consequently, we will use bounds of 0 and 1 for both for θ and V_0 .
- **Correlation:** Statistical correlation takes values from -1 to 1. As previously mentioned, the correlation between volatility and stock prices tends to be negative. However, positive correlations might also be possible in particular cases. Therefore, the full range of acceptable solutions will be used in the calibration.
- **Volatility of variance:** Being a volatility, this parameter should exhibit positive values. However, the volatility of financial assets may change dramatically in short time periods (i.e. the volatility itself is very volatile). Consequently, high upper bounds are required for this parameter. In order to avoid potential restrictions, a broad set of solutions, from 0 to 5, will be used in the calibration.
- **Mean-reversion speed:** To ensure mean-reversion the parameter κ should take positive values (negative values will cause mean aversion). However, we have not found clear evidence regarding which upper value could be an appropriate bound. Consequently, instead of fixing an upper level, maximum values for κ will be dynamically set in the calibration as a by-product of the non-negativity constraint.
- **Non-negativity constraint:** In addition to the parameter bounds, another condition is required to ensure that the variance process in the Heston model does not reach zero or negative values. In this regard, Feller (1951) shows that a constraint: $2\kappa\theta - \sigma^2 > 0$, guarantees that the variance in a CIR process is always strictly positive [4].

5 GLOBAL OPTIMIZATION

The main advantage of global optimization is that it does not exhaust its search on the first minimum attained. Generally, global optimizers include stochastic movements in their search pattern, which make it possible to overcome local minimums and continue searching even if a potential solution has already been found. However, the use of stochastic methods also entails certain drawbacks. The mathematical properties of these algorithms are less tractable than those of local (deterministic) ones. In addition, despite its name, their convergence to the global minimum is not guaranteed. In fact, since the exit sequence is determined stochastically, the algorithm might decide to terminate early and, in some cases, the solution attained might underperform a local search. All in all, even if global optimization is theoretically more powerful, when working with functions of unknown shape, it is not easy to establish which calibration method will perform better [7].

In order to test the results of global optimization we employ the Simulated Annealing framework (SA). This algorithm conducts a guided search, where new iterations are generated by taking into account the previous information but also introducing randomization. Initially, the algorithm starts with high tolerance for random shocks, and different regions are surveyed during the first phase. As a consequence, even if a minimum is found, the algorithm keeps searching for better solutions. As time evolves, the algorithm decreases its tolerance until it eventually settles in the best optimum attained.

In particular, we will use the Matlab function asamin, which was developed by Prof. Shinichi Sakata [5]. This function implements an Adaptive Simulated Annealing (ASA), dynamically adjusting the tolerance for random shocks. The ASA framework has been shown by Goel and Stander (2009) to provide good results among a range of different global optimizers. For comparability, we will use the same parameter bounds that we defined above.

6 DATA ANALYSIS, SIMULATIONS AND RESULTS

6.1 DATA AND DATA SOURCES

In order to produce fairly accurate results, the Heston model needs to be calibrated so as to estimate numerical values for its parameters. In calibrating the Heston model, EUR/USD was used as the underlying asset to estimate $\nu, \kappa, \sigma, \theta$ and ρ and

In determining the currency option price, Eur Libor (US Libor) data are used to determine the domestic (foreign) interest rate and the following market data had to be extracted from the foreign currency market. This data includes [12]:

- EUR/USD Exchange rate,
- Strike price.
- Bid and Ask

Currency call option quotes were obtained from the Bloomberg website. This data will be used to calibrate the model. The period runs from May 28, 2020 to May 07, 2021 and we use 5 maturities and for each maturity we use 5 strike prices (in total 25 currency options). The currency options dataset (Dataset D) that we use in the calibration are shown in Appendix B.

The domestic and foreign risk-free interest rates are provided by Bloomberg and the available maturities match those of the options. We use In-The-Money (ITM) currency call options sorted by S_t/K with the following expiry dates: Options that expire in:

- 1 month, [at 06/26/2020]
- 3 months currency options, [at 09/04/2020]
- 6 months currency options, [at 12/04/2020]
- 9 months currency options, [at 03/05/2021]
- One-year currency options. [at 05/07/2021]

6.2 HESTON MODEL CALIBRATION RESULTS

6.2.1 LOCAL CALIBRATION

Using the bounds described above, the implementation of the local calibration algorithm is shown in Local calibration script (Local_calibration.m). In addition, function (costfloc.m) provides the objective function required for this script. For dataset D, the results obtained with local optimization are the following:

Parameters	ν	θ	σ	ρ	κ
Values	0	0.0041	0.3163	0.9925	12.4467

Using these results, the model predicted values and its comparison with the market prices are shown below:

Table 1. The model predicted values and its comparison with the market prices using local calibration

Option	Mid price	Heston model price (HMP)	difference (abs)	HMP $\in$ [bid ask] ?
1	0,0213	0,023321215	0,002071215	Yes
2	0,0192	0,020602937	0,001402937	Yes
3	0,0173	0,018003745	0,000703745	Yes
4	0,0155	0,015556239	0,0000562387	Yes
5	0,0138	0,013289389	0,000460611	Yes
6	0,0491	0,050678284	0,001628284	Yes
7	0,0446	0,045674045	0,001124045	Yes
8	0,0402	0,040862243	0,000662243	Yes
9	0,036	0,036338303	0,000338303	Yes
10	0,032	0,032180043	0,000230043	Yes
11	0,0509	0,050130595	0,000769405	Yes
12	0,0468	0,046318915	0,000481085	Yes
13	0,0429	0,04272339	0,00017661	Yes
14	0,0392	0,039340564	0,000190564	Yes
15	0,0355	0,036164384	0,000664384	Yes
16	0,0566	0,055651559	0,000948441	Yes
17	0,0527	0,052113067	0,000586933	Yes
18	0,0489	0,048738756	0,000161244	Yes
19	0,0453	0,045530252	0,000280252	Yes
20	0,0417	0,042487951	0,000787951	Yes
21	0,0571	0,056029498	0,001070502	Yes
22	0,0534	0,052748018	0,000601982	Yes
23	0,0497	0,049613322	0,00003,6678	Yes
24	0,0461	0,046624579	0,000524579	Yes
25	0,0427	0,043780006	0,001080006	Yes

INTERPRETATION OF THE TABLE

As the table shows, the calibrated Heston model provides an excellent match for all traded options. All currency options have a predicted value that falls within the observed bid-ask spread. In addition, when evaluated in terms of our acceptance criterion, the model's average distance from the mid-market price is 0,00068153, which is lower than the average deviation in the bid-ask spreads (0,003978). The Elapsed time for the local calibration is 2.377027 seconds.

6.2.2 GLOBAL CALIBRATION

Using the same bounds, the implementation of the global calibration algorithm is shown in global calibration script (global_calibration.m). In addition, function (costfglob.m) provides the objective function required for this script. For dataset D, the results obtained with global optimization are the following:

Parameters	ν	θ	σ	ρ	κ
Values	0	0.0051	0.2898	1	12.5445

Using these results, the model predicted values and its comparison with the market prices are shown below:

Table 2. The model predicted values and its comparison with the market prices using global calibration

Option	Mid price	Heston model price (HMP)	difference (abs)	HMP € [bid ask] ?
1	0,0213	0,023417386	0,002167386	Yes
2	0,0192	0,020845746	0,001645746	Yes
3	0,0173	0,018398617	0,001098617	Yes
4	0,0155	0,016102317	0,000602317	Yes
5	0,0138	0,013979546	0,000229546	Yes
6	0,0491	0,050953453	0,001903453	Yes
7	0,0446	0,046323391	0,001773391	Yes
8	0,0402	0,041935856	0,001735856	Yes
9	0,036	0,037835831	0,001835831	Yes
10	0,032	0,03405105	0,00210105	Yes
11	0,0509	0,052496997	0,001596997	Yes
12	0,0468	0,048859629	0,002059629	Yes
13	0,0429	0,045398533	0,002498533	Yes
14	0,0392	0,042115549	0,002965549	Yes
15	0,0355	0,039011504	0,003511504	Yes
16	0,0566	0,05877213	0,00217213	Yes
17	0,0527	0,055379552	0,002679552	Yes
18	0,0489	0,052129129	0,003229129	Yes
19	0,0453	0,049021112	0,003771112	No
20	0,0417	0,046054862	0,004354862	No
21	0,0571	0,059710824	0,002610824	Yes
22	0,0534	0,056534021	0,003184021	Yes
23	0,0497	0,053482655	0,003832655	Yes
24	0,0461	0,050556218	0,004456218	No
25	0,0427	0,047753714	0,005053714	No

INTERPRETATION OF THE TABLE

As can be seen, the optimal parameters values under ASA are slightly different to those of local calibration. However, there are some divergences in the overall results. Under global calibration 21 out of 25 model values are within the observed bid-ask spreads, and the average distance to the mid-market price is 0,00252278. Therefore, the ASA solution is also acceptable according to our criterion and its quality is less accurate than the results obtained through MATLAB's `Isqnonlin`. The main drawback of ASA is its substantially higher computational time (590.013684 seconds in ASA vs 6.5 seconds in MATLAB's `Isqnonlin`). Based on these exercises, we can conclude that MATLAB's `Isqnonlin` provides excellent calibration results (average distance from the mid-market price is 0,00068153 vs 0,00252278 for ASA and all call currency options prices are within the observed bid-ask spreads), and it also employs lower computational times.

However, these results could be conditioned by an objective function that may not be complex enough to exploit the ASA strengths. In particular, since typically we do not know whether the objective function may exhibit several local minima, a conservative approach will be to run both calibration approaches. The drawback is, of course, that a global search might not necessarily improve the results provided by a local one. However, the advances in computing power and numerical methods keep reducing the time required for global calibration. In our calibration, the running time of ASA was lower than 10 minutes, which for many practical applications makes it worth testing for potentially better solutions.

7 CONCLUSION

This paper provides promising results regarding the application of the Heston model to currency option price estimation. We have adapted the original work of Heston (1993) to a foreign exchange (FX) setting. Simplicity, semi-analytic solution for options price and its ability to capture the option smile make from Heston model One of the most widely used stochastic

volatility models today. In this research paper, the EUR/USD exchange rate was considered and both local and global optimization has been explained and used to calibrate the model to the market data.

The calibration parameters founded by both methods provided a very good results within a relatively short timeframe. However, local optimization with MATLAB's lsqnonlin function provides excellent calibration results for all call currency options prices in our data set and it also employs lower computational times.

REFERENCES

- [1] Ait-Sahalia, Y., and R. Kimmel. (2007). "Maximum Likelihood Estimation of Stochastic Volatility Models." *Journal of Financial Economics*, 83: 413{452.
- [2] Carr, P. and Madan, D. (1998): Option valuation using the Fast Fourier Transform. *Journal of Computational Finance* 2, 61{73.
- [3] Chourdakis, K. (2008): Financial engineering: A brief introduction using Matlab system. Retrieved from <http://love.theponytail.net/>.
- [4] Gikhman, Ilya I., A Short Remark on Feller's Square Root Condition (February 6, 2011). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1756450> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1756450>.
- [5] Goel, T. and Stander, N. (2009): Adaptive Simulated Annealing for Global Optimization in LS-OPT. 7th European LS-DYNA Conference.
- [6] Heston, S L., A Closed-Form Solution for Options with Stochastic Volatility with Applications to Bond and Currency Options. *Review of Financial Studies*,6, 327-343,1993.
- [7] M.Mr_azek, J.Posp____sil Calibration and simulation of Heston model, 2017/05/23: <https://www.researchgate.net/publication/318151322>.
- [8] Ricardo Crisostomo, 2015. "An Analysis of the Heston Stochastic Volatility Model: Implementation and Calibration using Matlab," Papers 1502.02963, arXiv.org, revised Mar 2015.
- [9] S. Heston and S. Nandi, "A Closed-Form GARCH Option Valuation Model." *The Review of FinancialStudies* (2000), 13, 585-625.
- [10] Yuan, Y. X.: A review of trust region algorithms for optimization. In: ICM99: Proc.4th Int. Congress on Industrial and Applied Mathematics (Ball, J. M., Hunt, J. C. R.,eds.), pp. 271{282. Oxford: Oxford University Press 2000.
- [11] Wu, L. (2007): From Characteristic Functions and Fourier Transforms to PDFs/CDFs and Option Prices. Zicklin School of Business, Baruch College.
- [12] Chicago Board Options Exchange, S and P 500 Index Options Specications on the CBOE Website, Accessed at <http://www.cboe.com>.
- [13] The Mathworks, Help Files on the Mathworks Website-lsqnonlin, Accessed at <http://www.mathworks.com>.

APPENDIX A: MATLAB'S CODES USED IN CALIBRATING THE HESTON MODEL

Characteristic function for Heston model (charasteristic.m):

```
function y = charasteristic(s0, v0, vbar, a, vvol, r, rho, t, w)
alpha = -w.*w/2 - 1i*w/2;
beta = a - rho*vvol*1i*w;
gamma = vvol*vvol/2;
h = sqrt(beta.*beta - 4*alpha*gamma);
rplus = (beta + h)/vvol/vvol;
rminus = (beta - h)/vvol/vvol;
g=rminus./rplus;
C = a * (rminus * t - (2 / vvol^2) .* log((1 - g .* exp(-h*t))./(1-g)));
D = rminus .* (1 - exp(-h * t))./(1 - g .* exp(-h*t));
y = exp(C*vbar + D*v0 + 1i*w*log(s0*exp(r*t)));
end
```

Call price in the Heston model

```
function z = call_heston(s0, v0, vbar, a, vvol, r, rho, t, k)
int1 = @(w, s0, v0, vbar, a, vvol, r, rho, t, k) real(exp(-1i.*w*log(k)).* charasteristic(s0, v0, vbar, a, vvol, r, rho, t, w) ./ (1i*w.* charasteristic(s0, v0, vbar, a, vvol, r, rho, t, -1i)));
int1 = integral(@(w)int1(w,s0, v0, vbar, a, vvol, r, rho, t, k),0,100);
pi1 = int1/pi+0.5;
int2 = @(w, s0, v0, vbar, a, vvol, r, rho, t, k) real(exp(-1i.*w*log(k)).* charasteristic(s0, v0, vbar, a, vvol, r, rho, t, w) ./ (1i*w));
int2 = integral(@(w)int2(w,s0, v0, vbar, a, vvol, r, rho, t, k),0,100);
pi2 = int2/pi+0.5;
z = s0*exp(-0.00456058*t)*pi1-exp(-0.00248764*t)*k*pi2;
```

Costfloc function for local calibration (Costfloc.m)

```
function [costex] = costfloc(x)
global hesdata; global finalcostex;
for i=1:length(hesdata)
costex(i)= hesdata(i,5)-
call_heston(hesdata(i,1),x(1),x(2),(x(5)+x(3)^2)/(2*x(2)),x(3),hesdata(i,4),x(4),hesdata(i,2),hesdata(i,3));
end
finalcostex=sum(costex)^2 ;
end
```

Local calibration script (Local_calibration.m)

```
clear

global hesdata;
load('hesdata.mat');
ex0 = [0.5,0.5,1,-0.5,1];
mi = [0, 0, 0, -1, 0];
ma = [1, 1, 5, 1, 20];
tic;
x = lsqnonlin(@costfloc,ex0,mi,ma);
toc;
Heston_sol_ex = [x(1), x(2), x(3), x(4), (x(5)+x(3)^2)/(2*x(2))];
disp('les paramètres de calibration du modèle sont[v theta sigma rho kappa:]') ;
disp(Heston_sol_ex);
```


Costfglob function for global calibration (costfglob.m)

```
function [costex, flag] = costfglob(x)
global hesdata; global finalcostex; global costex; global cost_iex; global Heston_solex2;
for i=1:length(hesdata)
cost_iex(i)= hesdata(i,5)-
call_heston(hesdata(i,1),x(1),x(2),(x(5)+x(3)^2)/(2*x(2)),x(3),hesdata(i,4),x(4),hesdata(i,2),hesdata(i,3));
end
costex = sum(cost_iex.^2);
finalcostex = sum(costex);
flag = 1;
Heston_solex2=[x(1), x(2), x(3), x(4),(x(5)+x(3)^2)/(2*x(2))];
end
```

Global calibration script (global_calibration.m)

```
clear
global Heston_solex2;
global finalcost2ex;
load('hesdata.mat');
x0 = [0.5,0.5,1,-0.5,1];
mi = [0, 0, 0, -1, 0];
ma = [1, 1, 5, 1, 20];
asamin('set', 'test_in_cost_func', 0);
xtype = [-1;-1;-1;-1;-1];
tic;
[f, x_opt, grad, hessian, state] = asamin ('minimize','costfgolb',x0,mi,ma, xtype);
toc;
disp('les paramètres de calibration du modèle sont [v theta sigma rho kappa] :');
Heston_solex2=[x_opt(1), x_opt(2), x_opt(3), x_opt(4),(x_opt(5)+x_opt(3)^2)/(2*x_opt(2))];
disp(Heston_solex2);
```

APPENDIX B: SAMPLE OF DATA USED IN CALIBRATING THE HESTON MODE

N	Spot	DTM	Strike	r=rd-rf	Mid	rd	rf	bid	ask
1	1.1115	0.115079365079365	1.0875	-0.00706805	0.02125	-0.002781775	0.004286275	0.0171	0.0254
2	1.1115	0.115079365079365	1.09	-0.00706805	0.0192	-0.002781775	0.004286275	0.0152	0.0232
3	1.1115	0.115079365079365	1.0925	-0.00706805	0.0173	-0.002781775	0.004286275	0.0135	0.0211
4	1.1115	0.115079365079365	1.095	-0.00706805	0.0155	-0.002781775	0.004286275	0.0119	0.0191
5	1.1115	0.115079365079365	1.0975	-0.00706805	0.01375	-0.002781775	0.004286275	0.0103	0.0172
6	1.1115	0.392857142857143	1.06	-0.00706805	0.04905	-0.002781775	0.004286275	0.0445	0.0536
7	1.1115	0.392857142857143	1.065	-0.00706805	0.04455	-0.002781775	0.004286275	0.0401	0.049
8	1.1115	0.392857142857143	1.07	-0.00706805	0.0402	-0.002781775	0.004286275	0.0359	0.0445
9	1.1115	0.392857142857143	1.075	-0.00706805	0.036	-0.002781775	0.004286275	0.0318	0.0402
10	1.1115	0.392857142857143	1.08	-0.00706805	0.03195	-0.002781775	0.004286275	0.0279	0.036
11	1.1137	0.753968253968254	1.065	-0.00706805	0.0509	-0.002781775	0.004286275	0.0466	0.0552
12	1.1137	0.753968253968254	1.07	-0.00706805	0.0468	-0.002781775	0.004286275	0.0426	0.051
13	1.1137	0.753968253968254	1.075	-0.00706805	0.0429	-0.002781775	0.004286275	0.0388	0.047
14	1.1137	0.753968253968254	1.08	-0.00706805	0.03915	-0.002781775	0.004286275	0.0352	0.0431
15	1.1137	0.753968253968254	1.085	-0.00706805	0.0355	-0.002781775	0.004286275	0.0317	0.0393
16	1.1164	1.11507936507937	1.065	-0.00706805	0.0566	-0.002781775	0.004286275	0.0525	0.0607
17	1.1164	1.11507936507937	1.07	-0.00706805	0.0527	-0.002781775	0.004286275	0.0487	0.0567
18	1.1164	1.11507936507937	1.075	-0.00706805	0.0489	-0.002781775	0.004286275	0.045	0.0528
19	1.1164	1.11507936507937	1.08	-0.00706805	0.04525	-0.002781775	0.004286275	0.0415	0.049
20	1.1164	1.11507936507937	1.085	-0.00706805	0.0417	-0.002781775	0.004286275	0.038	0.0454
21	1.1186	1.36507936507937	1.07	-0.00706805	0.0571	-0.002781775	0.004286275	0.0531	0.0611
22	1.1186	1.36507936507937	1.075	-0.00706805	0.05335	-0.002781775	0.004286275	0.0494	0.0573
23	1.1186	1.36507936507937	1.08	-0.00706805	0.04965	-0.002781775	0.004286275	0.0458	0.0535
24	1.1186	1.36507936507937	1.085	-0.00706805	0.0461	-0.002781775	0.004286275	0.0424	0.0498
25	1.1186	1.36507936507937	1.09	-0.00706805	0.0427	-0.002781775	0.004286275	0.0391	0.0463

L'impact de l'internationalisation des PME marocaines sur les leviers de contrôle de gestion

[The impact of the internationalization of Moroccan SMEs on management control levers]

Soukayna Ouachi¹, Meriem Alaoui², Nadia Bakhouch³, and Mokhtar Oikaoui⁴

¹Docteur en Sciences de Gestion, Faculté des sciences juridiques, économiques et sociales, Casablanca, Morocco

²Docteur en Sciences de Gestion, Faculté des sciences juridiques, économiques et sociales, Casablanca, Morocco

³Docteur en Sciences de Gestion, Faculté des sciences juridiques, économiques et sociales, Casablanca, Morocco

⁴Docteur en sciences économiques et gestion, Université Mohamed V Souissi, Rabat, Morocco

Copyright © 2021 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 objective of our research work is to shed light on the way in which the managers of Moroccan SMEs use management control systems and this in the context of controlling the internationalization of their activities. In the literature, the management control system is defined as the evolving formal and informal mechanisms, processes, systems and networks used by organizations to convey key management objectives, to support the strategic process and to ensure continuous management through analysis, planning, measurement, control, reward and support of organizational learning and change. In order to study the contingency of MCS and the internationalization of Moroccan SMEs, we decided to explore the different uses of MCS adopted by leaders of internationalized SMEs as a function of international experience as well as remoteness of operations. To do so, we used Simons' 1995 framework of levers of control, which is a useful analytical tool for exploring the different uses of the MCS. Based on the results of a quantitative study by questionnaire administered to a sample of 100 internationalized Moroccan SMEs, we analyze the types of MCS uses adopted by these firms in order to steer and control the development of their activities internationally. We explore through the results that the diagnostic and interactive uses of the MCS can be explained by the change of the explanatory variables which are the degree of internationalization and the international experience. Indeed, interactive use of the MCS is deployed by managers who do not have a great deal of international experience and who manage SMEs with a high degree of internationalization. As for the diagnostic use of the MCS, it is adopted by SME managers who have extensive international experience and who manage SMEs with a low degree of internationalization.

We then show that the use of the MCS depends on contingency factors related to internationalization.

KEYWORDS: Internationalization, Moroccan SMEs, Management control systems, diagnostic use of the MCS, interactive use of the MCS, international experience, remoteness of activities.

RESUME: L'objectif de notre travail de recherche est de porter un éclairage sur la manière avec laquelle les dirigeants de PME marocaines utilisent les systèmes de contrôle de gestion et ceci dans le cadre du contrôle de l'internationalisation de leurs activités. Dans la littérature le système de contrôle de gestion est défini comme étant les mécanismes, processus, systèmes et réseaux formels et informels en évolution, utilisés par les organisations pour transmettre les objectifs clés de la direction, pour soutenir le processus stratégique et pour assurer une gestion continue par le biais de l'analyse, la planification, la mesure, le contrôle, la récompense et le soutien de l'apprentissage et du changement organisationnels. Afin d'étudier la contingence des

SCG et l'internationalisation des PME marocaines, nous avons décidé d'explorer les différentes utilisations du SCG adoptées par les dirigeants des PME internationalisées en fonction de l'expérience internationale ainsi que de l'éloignement des activités. Pour cela nous avons sollicité le cadre des leviers de contrôle de Simons 1995 qui constitue un outil analytique utile pour explorer les différentes utilisations du SCG. En nous basant sur les résultats d'une étude quantitative par questionnaire administré auprès d'un échantillon de 100 PME marocaines internationalisées, nous analysons les types d'utilisations de SCG adoptés par ces entreprises dans le but de piloter et de contrôler le développement de leurs activités sur le plan international. Nous explorons à travers les résultats que les utilisations diagnostiques et interactives du SCG peuvent être expliquées par le changement des variables explicatives qui sont le degré d'internationalisation et l'expérience internationale. En effet une utilisation interactive du SCG est déployée par les dirigeants qui n'ont pas une grande expérience à l'international et qui gèrent des PME qui connaissent un degré d'internationalisation élevé. En ce qui concerne l'utilisation diagnostique du SCG, elle est adoptée par les dirigeants de PME qui ont une grande expérience à l'international et qui gèrent des PME faiblement internationalisée. Nous démontrons alors que l'utilisation du SCG dépend des facteurs de contingence afférents à l'internationalisation.

MOTS-CLEFS: Internationalisation, PME Marocaines, Systèmes de contrôle de gestion, utilisation diagnostique du SCG, Utilisation interactive du SCG, l'expérience internationale, l'éloignement des activités.

1 INTRODUCTION

L'internationalisation est une jeune discipline de recherche âgée d'un peu plus de quatre décennies. Ce concept a été traditionnellement étudié pour le compte des grandes entreprises multinationales des pays développés [1]. Ainsi, l'internationalisation des PME ne trouvait pas de cadre de recherche spécifique et a été souvent négligée par les chercheurs.

Au Maroc, « les PME constituent le centre névralgique de l'économie avec 40% de la production et 31% des exportations » (CDVM, 2011). La participation de la PME est de 90% dans toutes les branches d'activité hors la production et de la distribution d'électricité, gaz et eau (50%). Elles sont représentées dans tous secteurs confondus: agriculture, industrie, artisanat, BTP, commerces et enfin les services qui incluent le tourisme, les communications, les transports et les offres financières.

Dans le cadre de cette recherche nous nous intéressons à l'étude de la contingence des utilisations du SCG dans le cadre de l'internationalisation des PME marocaines. L'exécution du contrôle de gestion au-delà des frontières est cruciale pour les PME internationales. Cette discipline a été l'objet de nombreuses études au cours des 25 dernières années, soulignant ainsi la pertinence de la relation entre le SCG et l'internationalisation.

Cette recherche a donc pour but d'explorer les utilisations du SCG que les dirigeants adoptent en fonction de certaines caractéristiques de l'internationalisation. Notre essence est ainsi de comprendre comment les dirigeants de PME internationalisées adaptent leurs utilisations du SCG en fonction de leurs expériences à l'international ainsi que du degré d'internationalisation de la PME. Ce questionnement s'enregistre dans la continuité des théories de la contingence [2] et vise à en étendre les apports au sein du contexte particulier que constituent les PME qui s'internationalisent.

En se basant sur les résultats obtenus par le biais d'un questionnaire administré auprès d'un échantillon de 100 PME marocaines internationalisées, nous découvrons les pratiques mises en œuvre au sein de ces entreprises pour contrôler leur développement international. Nous explorons à travers les résultats que les utilisations diagnostiques et interactives du SCG peuvent être expliquées par le changement des variables explicatives qui sont le degré d'internationalisation et l'expérience internationale. En effet une utilisation interactive du SCG est déployée par les dirigeants qui n'ont pas une grande expérience à l'international et qui gèrent des PME qui connaissent un degré d'internationalisation élevé. En ce qui concerne l'utilisation diagnostique du SCG, elle est adoptée par les dirigeants de PME qui ont une grande expérience à l'international et qui gèrent des PME faiblement internationalisée.

2 REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 SYSTÈME DE CONTRÔLE DE GESTION

2.1.1 UTILISATION DU SCG: LE CADRE CONCEPTUEL DES LEVIERS DE CONTRÔLE (SIMONS 1995)

Les systèmes de contrôle de gestion ont été conceptualisés de différentes manières. Dans le cadre de notre quête d'une définition globale, nous trouvons dans la littérature une définition moderne du SCG qui englobe l'ensemble des éléments cités

par plusieurs auteurs et le présente comme « les mécanismes, processus, systèmes et réseaux formels et informels en évolution utilisés par les organisations pour transmettre les objectifs clés définis par la direction, pour soutenir le processus stratégique et pour assurer une gestion continue par le biais de l'analyse, la planification, la mesure, le contrôle, la récompense et le soutien de l'apprentissage et du changement organisationnels » [3]. Cette discipline est née dans un contexte purement concurrentiel afin de jouer le rôle de relais entre la stratégie et l'opérationnel et s'assurer de l'exécution des plans d'action via la traduction de la stratégie [4].

Nous nous sommes intéressés à l'étude des systèmes de contrôle de gestion au sein des PME marocaines internationalisées, notre intérêt a porté sur l'exploration des différentes utilisations du SCG au sein de notre cible. Et pour cela nous avons sollicité le cadre des leviers de contrôle de Simons qui constitue un outil analytique utile pour explorer les différentes utilisations du SCG. En 1995, Simons a identifié quatre leviers de contrôle permettant de décliner la stratégie, il s'agit du (contrôle des valeurs et des croyances, contrôle des limites, contrôle diagnostic et contrôle interactif) qu'il a synthétisé dans une grille très utilisée en contrôle de gestion, car elle présente de nombreux atouts, notamment l'inclusion de différents types de contrôles et permet de comprendre le but des systèmes de contrôle et la manière dont ils sont utilisés. Dans cette étude, nous nous focalisons sur les utilisations diagnostiques et interactives du SCG au sein des PME marocaines internationalisées. D'un côté, nous examinons ces deux utilisations du SCG parce que le contrôle de gestion est principalement concerné par ces deux leviers, et d'un autre côté il est généralement admis que le SCG n'améliore pas automatiquement les performances, mais que ces dernières sont totalement liées à la manière dont le système est utilisé. [5] affirme que la meilleure façon d'étudier les SCG consiste à examiner leurs différentes utilisations au sein des organisations.

2.1.2 LEVIER DE CONTRÔLE DIAGNOSTIC

L'utilisation diagnostique des SCG consiste à surveiller les résultats organisationnels clés et corriger les écarts par rapport à des standards de performance définis au préalable. Ce levier est utilisé pour comparer les performances réelles aux objectifs prédéfinis afin d'identifier les exceptions et les écarts par rapport aux plans [6]. Les systèmes de contrôle diagnostic sont mobilisés pour quantifier les nouvelles orientations stratégiques, matérialiser les engagements de l'entreprise et mesurer les progrès accomplis. Ces systèmes jouent un rôle important dans la communication avec les acteurs externes de l'entreprise.

Ce contrôle est réalisé grâce à un ensemble d'indicateurs des différentes composantes de la performance de l'entreprise ou bien globalement les informations qui sont nécessaires aux managers. Le but est d'être assez exhaustif dans la mesure de la performance. Les données financières indiquent le moment où les objectifs sont atteints, tandis que les mesures non financières permettent aux gestionnaires de surveiller et de contrôler les facteurs de réussite critiques [7]. Le contrôle diagnostic est généralement informatisé parce que le volume des informations qui doivent être traitées est important.

2.1.3 LEVIER DE CONTRÔLE INTERACTIF

L'utilisation interactive du SCG consiste en des processus formels de communication à double sens entre gestionnaires et subordonnés, dans lesquels la participation des employés est encouragée dans un processus formel de débat afin de leur permettre de rechercher des opportunités, de résoudre des problèmes et de prendre des décisions. Dans cette utilisation, les managers interagissent vigoureusement avec leurs subordonnés autour des intérêts stratégiques et les intègrent en personne dans les décisions [8]. D'une part, l'utilisation interactive permet d'attirer l'attention sur les incertitudes stratégiques, stimuler la recherche d'opportunités et encourager l'émergence de nouvelles initiatives stratégiques. D'autre part, l'utilisation interactive du SCG vise à favoriser les discussions et les remontées d'informations provenant du terrain ce qui crée un dialogue actif et fréquent entre les cadres supérieurs et les employés [9].

2.2 INTERNATIONALISATION DES PME MAROCAINES

2.2.1 INTERNATIONALISATION DES ENTREPRISES

[10] définissent l'internationalisation comme: "le processus de participation accrue aux opérations internationales". Les mérites cette définition ont été reconnus parce qu'elle est concise, et suffisamment holistique pour prendre en compte les multiples facteurs associés à l'expansion internationale.

Dans un sens général, le terme internationalisation peut être défini comme l'action ou l'effet d'étaler quelque chose sur différentes nations.

Malgré l'existence de plusieurs définitions de l'internationalisation, le point commun reste la mobilisation des ressources (humaines, matérielles, technologiques, liens d'affaires) pour se tourner vers l'extérieur. Un autre point commun est que la majorité des définitions présentent l'internationalisation comme un processus dans le temps ou par étapes [11].

2.2.2 DÉFINITION DE LA PME AU MAROC:

Au Maroc, « les PME constituent le centre névralgique de l'économie avec 40% de la production et 31% des exportations » (CDVM, 2011). Elles sont représentées dans tous secteurs confondus: agriculture, industrie, artisanat, BTP, commerces et enfin les services qui incluent le tourisme, les communications, les transports et les offres financières.

La PME s'inscrit efficacement dans le processus de développement grâce à sa dimension sociétale responsable qui est basée sur l'engagement social et environnemental et qui l'oriente au-delà de la législation existante, à interagir avec différents acteurs de son écosystème: employés, clients, médias, Etat, société civile, etc. La PME joue aussi un rôle indéniable dans le développement régional et dans la promotion sociale.

2.3 LE MODÈLE DE RECHERCHE CONCEPTUEL DE LA RELATION ENTRE L'UTILISATION DU SCG ET L'INTERNATIONALISATION

2.3.1 UTILISATION DU SCG ET EXPÉRIENCE INTERNATIONALE

L'expérience du dirigeant implique son expérience en management, son expérience internationale ainsi que son temps passé à l'étranger. Selon [12], les expériences professionnelles internationales permettent aussi aux dirigeants de développer des ressources uniques comme un réseau, des connaissances d'affaires ou autres qui les aident à identifier et à saisir de nouvelles opportunités d'affaires sur des marchés hors frontières.

Lors des dernières années, divers chercheurs ont aussi reconnu l'influence exercée par l'expérience internationale de la direction sur le comportement des PME à l'égard des activités internationales tant pour la participation initiale à l'internationalisation que pour la stratégie d'expansion sur les marchés étrangers [13].

Les dirigeants des entreprises qui développent une grande expérience à l'international, acquièrent un meilleur degré de compréhension ainsi qu'une perception plus précise de leur environnement. Leurs connaissances des marchés étrangers et le développement de leurs compétences internationales (compétences linguistiques, maîtrise des procédures administratives, compréhension des particularités culturelles, etc.) les encouragent à adopter un mode de management basé sur la flexibilité. Ce type de management fondé sur la valeur de la flexibilité encourage les contrôles informels, les canaux de communication ouverts et la libre circulation de l'information dans l'ensemble de l'organisation. [14] constate que les entreprises qui mettent l'accent sur la flexibilité utilisent le SCG pour saisir les opportunités de l'environnement et faciliter la prise de décision stratégique. Ces entreprises reconnaissent l'importance pour leurs employés de pouvoir réagir rapidement et de prendre des décisions stratégiques. Ils sont adaptables, réactifs et organique. En revanche, les dirigeants qui n'optent pas pour la flexibilité sont des adeptes de la prévisibilité, la stabilité, la formalité, la rigidité et la conformité. Dans ce type d'organisation, tout l'intérêt est porté sur la planification, le rendement et la lisibilité des objectifs ainsi que la culture hiérarchique reflète la bureaucratie et la stabilité. Les rôles, règles et réglementations sont mis en évidence. Conformément à [14] nous proposons les hypothèses ci-dessous:

Hypothèse 1a: Les dirigeants des PME marocaines internationalisées qui ont une grande expérience des opérations internationales utilisent le SCG d'une manière interactive

Hypothèse 1b: Les dirigeants des PME marocaines internationalisées qui n'ont pas une grande expérience des opérations internationales utilisent le SCG d'une manière diagnostique

2.3.2 UTILISATION DU SCG ET DEGRÉ D'INTERNATIONALISATION

Pour cette étude, nous avons choisi de nous appuyer sur des mesures objectives qui sont inspirées de différentes mesures mentionnées par [15]. L'intensité des opérations internationales est, selon [16], l'indicateur le plus largement utilisé dans les recherches empiriques. L'intensité des opérations à l'étranger est définie comme le pourcentage des ventes à l'international [17]. D'autres chercheurs la considèrent comme le ratio des exportations de la production exportée par rapport à la production totale. L'intensité des opérations internationales influence directement le degré d'internationalisation [18]. Plus le coefficient d'intensité des opérations internationales est élevé, plus le niveau d'internationalisation est élevé.

Pour évaluer la couverture géographique des marchés étrangers, nous utilisons le nombre total de pays partenaires avec lesquels l'entreprise est active. Le nombre de pays/marchés internationaux couverts par une entreprise montre qu'elle a réussi à atteindre la communauté internationale et représente une autre mesure dominante de la performance de l'entreprise [19].

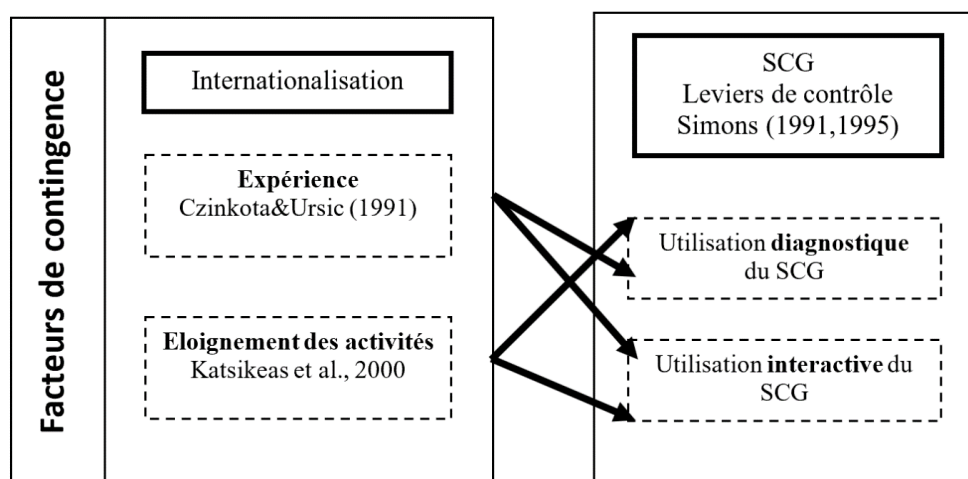
Le degré d'internationalisation élevé est une source d'incertitude environnementale, cette dernière est la variable de l'environnement la plus étudiée [2]. L'incertitude environnementale survient lorsqu'il existe un écart entre les informations requises et les informations disponibles pour prendre des décisions éclairées. En conséquence, [20] propose qu'il est de plus en plus nécessaire que les systèmes de contrôle fournissent des informations supplémentaires. L'incertitude est associée à l'importance accrue accordée aux systèmes de contrôle [21]. En revanche les entreprises exposées à une incertitude environnementale doivent doter leurs SCG d'une certaine souplesse qui leur permettra de faire face à un environnement changeant et incertain grâce à la forte participation des salariés et aux interactions interpersonnelles entre supérieurs et subordonnés [22] [23]. a suggéré que la comptabilité ait un rôle de planification à jouer dans des conditions d'incertitude, mais il doit exister des interactions substantielles entre les comptables et les autres gestionnaires pour faire face aux changements de conditions qui se déroulent de manière imprévisible. [2] affirme que dans un environnement complexe et instable les entreprises réduisent l'accent mis sur les budgets pour s'ouvrir encore plus sur l'environnement.

[2] a centralisé les informations de cette littérature dans une hypothèse sur laquelle nous nous basons pour proposer que:

Hypothèse 2a: Les dirigeants des PME marocaines internationalisées qui connaissent un degré d'internationalisation élevé utilisent le SCG d'une manière interactive

Hypothèse 2b: Les dirigeants des PME marocaines internationalisées qui ne connaissent pas un degré d'internationalisation élevé utilisent le SCG d'une manière diagnostique

2.3.3 MODÈLE DE RECHERCHE CONCEPTUEL



Source: Conçu par les auteurs

3 MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE

3.1 SÉLECTION DE L'ÉCHANTILLON

Notre recherche est basée sur les données d'une enquête menée auprès de 100 PME marocaines internationalisées. Puisque notre objectif de recherche porte sur les différences des utilisations du Système de Contrôle de Gestion et non pas l'étude des caractéristiques des entreprises internationalisées et celles qui ne le sont pas. Nous avons écarté de notre échantillon toutes les PME qui ne sont pas ou ne sont plus internationalisées.

Nous avons construit notre questionnaire en nous basant sur des items précédemment utilisés et validés par des recherches précédentes. Nos répondants sont les dirigeants des PME. Nous avons administré le questionnaire en ligne via google forms, nous avons laissé les répondants choisir le moment de remplissage tout en envoyant des messages de relance pour augmenter le taux de réponse.

3.2 VARIABLES DE LA RECHERCHE

3.2.1 UTILISATION DIAGNOSTIQUE DU SYSTÈME DE CONTRÔLE DE GESTION

Afin de mesurer l'utilisation diagnostique du SCG, nous nous appuyons sur [8]. Nous utilisons ses questions pour savoir dans quelle mesure la haute direction s'appuie sur des mesures de performance pour suivre les progrès, suivre les résultats, comparer les résultats aux attentes et évaluer les performances. Cela correspond au concept du contrôle diagnostique. Puisque l'utilisation diagnostique du SCG s'appuie sur des mesures de performance, nous nous attendons à ce que nos items de mesure de la variable diagnostique soient en corrélation avec la prévalence d'objectifs de performance.

3.2.2 UTILISATION INTERACTIVE DU SYSTÈME DE CONTRÔLE DE GESTION

L'utilisation interactive du SCG a été opérationnalisée grâce à la combinaison de trois questionnaires afin d'obtenir une large mesure de cette variable. Nous utilisons presque la même combinaison de mesure que celle de [24] sauf que dans notre questionnaire nous adoptons les sept items de mesure de l'utilisation interactive du SCG de [8] or qu'eux avaient fait le choix d'en éliminer deux. Afin de mesurer la variable utilisation interactive du SCG, nous posons deux questions sur l'implication des cadres supérieurs dans les mesures de performance de [21]. Puis nous rajoutons les sept items de [8]. Enfin, nous posons des questions sur l'accent mis sur les incertitudes stratégiques développées par [24]. [24] dans la même veine que [8], ils posent des questions sur la mesure dans laquelle la direction générale s'appuie sur des mesures de la performance pour (1) signaler les domaines stratégiques clés à améliorer, (2) signaler de nouveaux défis stratégiques et (3) discuter de l'impact des changements potentiels dans l'environnement concurrentiel. Ensemble, ces trois questions mesurent l'attention portée aux incertitudes stratégiques.

3.2.3 EXPÉRIENCE DU DIRIGEANT

Etant donné que le dirigeant est le chef d'orchestre de la PME et qu'il est le décideur principal de ses activités et sa stratégie, nous nous sommes focalisés sur son expérience. Afin de mesurer cette variable, nous nous sommes basés sur son expérience en gestion [25], son expérience internationale [25] ainsi que le temps qu'il a passé ou vécu à l'étranger.

3.2.4 DEGRÉ D'INTERNATIONALISATION

Pour la mesure du degré d'internationalisation, nous nous sommes appuyés sur [19]. Du point de vue objectif, cette étude se base sur l'intensité des opérations internationales ainsi que sur la couverture géographique du marché. L'intensité des opérations à l'étranger est l'une des mesures de la performance internationale, de la rentabilité perçue et de l'engagement continu à l'exportation. Nous notons que le nombre de pays partenaires à l'étranger est une mesure particulièrement pertinente pour refléter les résultats à l'international des PME, car elle montre la diversité de la couverture des exportations, en particulier dans le cas des petites et moyennes entreprises marocaines qui tendent traditionnellement à concentrer leurs activités majeures sur quelques pays de l'Union Européenne.

4 MÉTHODES D'ANALYSE DES DONNÉES ET RÉSULTATS

En premier lieu, nous avons opté pour une purification de mesures avec l'ACP et Alpha de Cronbach, afin de purifier les items de mesure et garder seulement les items qui convergent vers le même axe. En second lieu, nous avons réalisé un test de corrélations entre les variables explicatives et les variables à expliquer, l'objectif de cette étape est de réaliser un test de corrélation bivariable des différentes variables à savoir: Expérience, Structure Internationale, Utilisation diagnostique du SCG et Utilisation interactive du SCG.

Les résultats se présentent comme suit:

Tableau 1. Les résultats des corrélations

Corrélations					
		Expérience	Structure Internationale	Utilisation diagnostique du SCG	Utilisation interactive du SCG
Expérience	Corrélation de Pearson	1	,087	,649**	-,176
	Sig. (bilatérale)		,413	,000	,097
	N	90	90	90	90
Structure Internationale	Corrélation de Pearson	,087	1	,039	,488**
	Sig. (bilatérale)	,413		,982	,000
	N	90	90	90	90
Utilisation diagnostique du SCG	Corrélation de Pearson	,649**	,039	1	-,136
	Sig. (bilatérale)	,000	,982		,201
	N	90	90	90	90
Utilisation interactive du SCG	Corrélation de Pearson	-,176	,488**	-,136	1
	Sig. (bilatérale)	,097	,000	,201	
	N	90	90	90	90

** : La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Le tableau des corrélations nous montre que :

La relation entre la variable " Expérience " et la variable " Structure Internationale " est une corrélation positive mais non significative ($R = 0,087$; $p\text{-value} = 0,413$), lorsque la variable " Expérience " augmente, la variable " Structure Internationale " augmente aussi.

La relation entre la variable " Expérience " et la variable " Utilisation diagnostique du SCG " est une corrélation positive et significative ($R = 0,649$; $p\text{-value} = 0,000$), lorsque la variable " Expérience " augmente, la variable " Utilisation diagnostique du SCG " augmente aussi.

La relation entre la variable " Structure Internationale " et la variable " Utilisation diagnostique du SCG " est une corrélation négative mais non significative ($R = -0,039$; $p\text{-value} = 0,982$), lorsque la variable " Structure Internationale " augmente, la variable " Utilisation diagnostique du SCG " baisse aussi.

La relation entre la variable " Expérience " et la variable " Utilisation interactive du SCG " est une corrélation négative mais non significative ($R = -0,176$; $p\text{-value} = 0,097$), lorsque la variable " Expérience " augmente, la variable " Utilisation interactive du SCG " baisse.

La relation entre la variable " Structure Internationale " et la variable " Utilisation interactive du SCG " est une corrélation positive et significative ($R = 0,488$; $p\text{-value} = 0,000$), lorsque la variable " Structure Internationale " augmente, la variable " Utilisation interactive du SCG " augmente aussi.

La relation entre la variable " Utilisation diagnostique du SCG " et la variable " Utilisation interactive du SCG " est une corrélation négative mais non significative ($R = -0,136$; $p\text{-value} = 0,201$), lorsque la variable " Utilisation diagnostique du SCG " augmente, la variable " Utilisation interactive du SCG " baisse.

Tableau 2. Les résultats des hypothèses

Hypothèses		Résultat
Hypothèse 1a:	Les dirigeants des PME marocaines internationalisées qui ont une grande expérience des opérations internationales utilisent le SCG d'une manière interactive	Rejetée
Hypothèse 1b:	Les dirigeants des PME marocaines internationalisées qui n'ont pas une grande expérience des opérations internationales utilisent le SCG d'une manière diagnostique	Rejetée
Hypothèse 2a:	Les dirigeants des PME marocaines internationalisées qui connaissent un degré d'internationalisation élevé utilisent le SCG d'une manière interactive	Acceptée
Hypothèse 2b:	Les dirigeants des PME marocaines internationalisées qui ne connaissent pas un degré d'internationalisation élevé utilisent le SCG d'une manière diagnostique	Acceptée

5 DISCUSSION DES RÉSULTATS ET CONCLUSION

Les résultats de notre étude empirique soutiennent que les dirigeants des PME marocaines internationalisées définissent le type d'utilisation du SCG en fonction de certaines variables contingentes. En effet nous avons exploré que l'utilisation diagnostique est adoptée par les dirigeants des PME qui ont une grande expérience à l'international et qui gèrent des entreprises faiblement internationalisées. Ces résultats confirment notre hypothèse afférente à l'interrelation entre Utilisation diagnostique & Degré d'internationalisation, par contre réfutent notre hypothèse sur le lien entre Utilisation diagnostique & Expérience.

D'après la littérature, il y'a une relation négative entre l'expérience du dirigeant à l'international et l'utilisation du SCG d'une manière diagnostique. L'infirmité de cette hypothèse dans le cadre de notre échantillon peut être expliquée par le fait que la prévisibilité, la stabilité, la formalité, la rigidité et la conformité sont des composantes cardinales de L'ADN du système de pilotage de l'entreprise de nationalité marocaine. Malgré la grande connaissance du dirigeant des marchés étrangers, il reste un adepte de la planification, du rendement et de la lisibilité des objectifs.

En ce qui concerne notre hypothèse qui prévoit un lien négatif entre le degré d'internationalisation et l'utilisation diagnostique du SCG, elle a été validée. Ceci confirme que le degré d'internationalisation élevé est une source d'incertitude environnementale et que l'incertitude est associée à l'importance accrue accordée aux systèmes de contrôle [21] qui doivent permettre de faire face à un environnement changeant et incertain grâce à la forte participation des salariés et aux interactions interpersonnelles entre supérieurs et subordonnés [22]. Autrement dit, ces SCG doivent être utilisés d'une manière interactive. Dans l'absence de cette incertitude les dirigeants se contentent d'une utilisation diagnostique dans laquelle les rôles, règles et réglementations sont mis en évidence.

Nous remarquons que malgré l'expérience restreinte des dirigeants de notre échantillon, leurs PME ont par contre un degré d'internationalisation élevé. Nous expliquons cela par l'émergence des entreprises Born Global qui sont nées internationales dès leur création et qui se développent rapidement notamment dans les secteurs de services et de TIC (Technologies de l'Information et de la Communication). Contrairement à la production locale et à l'export, ces secteurs ne demandent nécessairement pas beaucoup d'investissement matériel ou de coûts de logistique au départ. Les BG bénéficient des avantages de la globalisation et des moyens de communication et de travail à distance. Leur rendement est globalement plus efficace avec une bonne maîtrise de coûts de logistique. Le concept « Born Global » correspond aux entreprises qui font 25% de leur chiffre d'affaires à l'étranger pendant les deux premières années de leur existence. Une définition plus récente stipule que les entreprises BG entrent en activité au cours des trois premières années suivant leur existence et génèrent plus de 50% des ventes sur les marchés internationaux [26].

Au cours des 25 dernières années, un large éventail de facteurs d'influence sur les entreprises internationales a été étudié. A travers notre étude quantitative d'une centaine de PME marocaines, nous visons à analyser les types d'utilisations des SCG. Nous relevons que les entreprises qui ont un degré d'internationalisation élevé optent pour un SCG interactif. Cependant, les dirigeants des PME marocaines internationalisées qui ont une grande expérience des opérations internationales n'utilisent pas le SCG d'une manière interactive.

L'intérêt de cette étude réside dans les résultats analytiques qui nous fournissent des informations et des contributions de la relation entre le SCG et l'internationalisation des PME marocaines dans le contexte d'acteurs managériaux, institutionnels locaux et étrangers actifs et d'une dynamique environnementale de commerce international. Dans cette perspective, il serait intéressant de répliquer cette recherche auprès d'autres dirigeants issus d'un environnement différent. La conduite d'autres études longitudinales comparatives sur des entreprises de différents secteurs pourrait aussi accroître la connaissance de la relation SCG et internationalisation.

REFERENCES

- [1] J. H. Dunning, « International Production and the Multinational Enterprise », London, 1981.
- [2] R. H. Chenhall, « Management control systems design within its organizational context: findings from contingency-based research and directions for the future », *Accounting, Organizations and Society*, vol. 28, no 2-3, p. 127-168, févr. 2003, doi: 10.1016/S0361-3682 (01) 00027-7.
- [3] A. Ferreira et D. Otley, « The design and use of performance management systems: An extended framework for analysis », *Management Accounting Research*, vol. 20, no 4, p. 263-282, déc. 2009, doi: 10.1016/j.mar.2009.07.003.
- [4] S. Ouachi et M. Alaoui, « The Framework of Control Levers: An Exploratory Analysis of The Balance Within Moroccan Companies Listed on The Casablanca Stock Exchange », *International Journal of Advanced Research in Economics and Finance*, vol. 3, no 2, p. 26-31, 2021.
- [5] K. Langfield-Smith, « Management control systems and strategy: A critical review », *Accounting, Organizations and Society*, vol. 22, no 2, p. 207-232, 1997.
- [6] J. Mundy, « Creating dynamic tensions through a balanced use of management control systems », *Accounting, Organizations and Society*, vol. 35, no 5, p. 499-523, juill. 2010, doi: 10.1016/j.aos.2009.10.005.
- [7] T. Tuomela, « The interplay of different levers of control: A case study of introducing a new performance measurement system », *Management Accounting Research*, vol. 16, no 3, p. 293-320., 2005.
- [8] J.-F. Henri, « Management control systems and strategy: A resource-based perspective », *Accounting, Organizations and Society*, vol. 31, no 6, p. 529-558, août 2006, doi: 10.1016/j.aos.2005.07.001.
- [9] D. Naranjo-Gil et F. Hartmann, « Management accounting systems, top management team heterogeneity and strategic change », *Accounting, Organizations and Society*, vol. 32, no 7-8, p. 735-756, oct. 2007, doi: 10.1016/j.aos.2006.08.003.
- [10] R. E. Morgan et C. S. Katsikeas, « Obstacles to Export Initiation and Expansion », *International Journal of Management Sciences*, vol. 25, no 6, p. 677-690, 1997.
- [11] M. Alaoui et S. Ouachi, « Role of Leadership for International SMEs Based in Morocco », *Asian Journal of Entrepreneurship*, vol. 2, no 1, p. 16-25, 2021.
- [12] P. P. McDougall, S. Shane, et B. M. Oviatt, « Explaining the formation of international new ventures: The limits of theories from international business research », *Journal of Business Venturing*, vol. 9, no 6, p. 34-40, 1994.
- [13] J. Hallbäck et J. Larimo, « Variety in international new venture-typological analysis and beyond », *Journal of Euromarketing*, vol. 16, no 1, p. 37-57, 2007.
- [14] J.-F. Henri, « Organizational culture and performance measurement systems », *Accounting, Organizations and Society*, vol. 31, no 1, p. 77-103, 2005, doi: 10.1016/j.aos.2004.10.003.
- [15] C. A. Dörrenbächer, « Measuring corporate internationalisation: a review of measurement concepts and their use », *Econstor*, p. 119-126, 2000.
- [16] J. Pla-Barber et J. Alegre, « Analysing the link between export intensity, innovation and firm size in a science-based industry », *International Business Review*, vol. 16, no 3, p. 275-293, 2007.
- [17] J. M. Rose et A. Shoham, « Export performance and market orientation: establishing an empirical link », *Journal of Business Research*, vol. 55, no 3, p. 217-225, 2002.
- [18] J. Pla et A. Cobos, « La aceleración del proceso de internacionalización de la empresa: el caso de las International New Ventures españolas », *Revista de Economía IACE*, no 802, p. 9-22, 2002.
- [19] N. A. Morgan, C. S. Katsikeas, et L. C. Léonidou, « Firm-Level Export Performance Assessment : Review, Evaluation, and Development. », vol. 28, no 4, p. 493-511, 2000.
- [20] R. Simons, « Levers of Control: How Managers Use Innovative Control Systems to Drive Strategic Renewal », Harvard Business School Press, 1995.
- [21] S. K. Widener, « An empirical analysis of the levers of control framework », *Accounting, Organizations and Society*, vol. 32, no 7-8, p. 757-788, oct. 2007, doi: 10.1016/j.aos.2007.01.001.
- [22] M. Ezzamel, « The impact of environmental uncertainty, managerial autonomy and size on budget characteristics. », *Management Accounting Research*, no 1, p. 181-197, 1990.
- [23] C. S. Chapman, « Accountants in organizational networks. », *Accounting, Organizations and Society*, vol. 23, no 8, p. 737-766, 1998.
- [24] A.-M. Kruis, R. F. Speklé, et S. K. Widener, « The Levers of Control Framework: An exploratory analysis of balance », *Management Accounting Research*, vol. 32, p. 27-44, sept. 2016, doi: 10.1016/j.mar.2015.12.002.
- [25] Czinkota et M. Ursic, « Classification of exporting firms according to sales and growth into a share matrix », *Journal of Business Research*, vol. 22, no 3, p. 243-253, 1991.
- [26] M. Alaoui et S. Ouachi, « Role of organizational learning and knowledge in internationalization process », *IOSR Journal of Business and Management (IOSR-JBM)*, vol. 23, no 3, p. 6, 2021.

Etat des lieux de la biologie délocalisée au sein du Centre Hospitalier Universitaire Ibn Rochd de Casablanca

[State of play of biology relocated within the Ibn Rochd University Hospital in Casablanca]

Morjan Asmaa¹⁻², Omari Mohamed¹⁻³, and Kamal Nabiha¹⁻²

¹Laboratoire de biochimie, CHU Ibn Rochd de Casablanca, Morocco

²Laboratoire d'Immunologie Clinique et d'Immuno-Allergie (LICIA), Faculté de Médecine et de Pharmacie, Université Hassan II, Casablanca, Morocco

³Faculté des sciences juridiques, économiques et sociales, Mohammedia, Université Hassan II, Casablanca, Morocco

Copyright © 2021 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 delocalized medical biology examinations are carried out outside the laboratory near the patient by staff outside the laboratory, which saves time in obtaining the results. These examinations are subject to the same regulations as examinations carried out in a medical biology laboratory and are the responsibility of medical biologists who retain responsibility for validating the results obtained.

This development of the implantation of analytical devices of medical biology in the care units (outside the laboratory of the hospital) can be justified by several factors: medical emergencies, organizational constraints, the distance from the laboratory....

In this work we tried to analyze the state of affairs of delocalized biology and to reveal the problems of delocalized biology of our ibn Rochd hospital center in Casablanca.

KEYWORDS: Delocalized Biology, resuscitation, standards, questionnaire, audit.

RESUME: Les examens de biologie médicale délocalisée sont réalisés en dehors du laboratoire à proximité du patient par du personnel extérieur au laboratoire ce qui permet un gain de temps en ce qui concerne l'obtention des résultats. Ces examens sont soumis aux mêmes réglementations que les examens effectués en laboratoire de biologie médicale et relèvent de la responsabilité des biologistes médicaux qui conservent la responsabilité de la validation des résultats obtenus.

Ce développement des implantations de dispositifs analytiques de biologie médicale dans les unités de soins (en dehors du laboratoire de l'hôpital) peut se justifier par plusieurs facteurs: l'urgence médicale, les contraintes organisationnelles, l'éloignement du laboratoire....

Dans ce présent travail on a essayé d'analyser les états état des lieux de la biologie délocalisée et de révéler les problèmes de biologie délocalisée de notre centre hospitalier Ibn Rochd de Casablanca.

MOTS-CLEFS: Biologie délocalisée, réanimation, normes, questionnaire, audit.

1 INTRODUCTION

Les examens de biologie médicale délocalisée sont des examens de biologie médicale, dont la phase analytique est réalisée à proximité du patient, en dehors des locaux du laboratoire de biologie médicale, au sein d'établissements de soins publics ou privés et par du personnel extérieur au laboratoire [1].

Le résultat de ces analyses peut entraîner une modification immédiate des soins, donc elles doivent obéir à des exigences normatives [1].

L'objectif de notre travail est l'exploration de l'état des lieux de la biologie délocalisée au sein du centre hospitalier universitaire Ibn Rochd de Casablanca.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Il s'agit d'une étude prospective en collaboration entre notre laboratoire de biochimie et les services cliniques utilisant des analyses de biologie délocalisée du centre hospitalier universitaire Ibn Rochd de Casablanca.

Cette étude est basée sur l'élaboration d'un questionnaire adressé au praticiens, l'organisation d'une présentation de sensibilisation aux bonnes pratiques d'analyses médicales de la biologie délocalisée et l'élaboration d'une fiche d'audit d'observation.

L'évaluation finale des pratiques sera réalisée par une fiche d'audit d'évaluation.

Le questionnaire, la fiche d'audit d'observation et la fiche d'audit d'évaluation ont été rédigés à partir des normes ISO 22870 et ISO 15189.

Ces documents ont été exploités en les comparant aux normes ISO 22870 et ISO 15189 et la littérature.

Le recueil et l'uniformisation des données ont été effectués sur le logiciel Microsoft Office Excel, l'analyse statistique a été réalisée sur le logiciel SPSS version 10.

3 RÉSULTATS

32 services hospitaliers du CHU Ibn Rochd de Casablanca ont été inclus dans cette étude: 5 services de réanimation, la néphrologie, la gynécologie, la cardiologie, la médecine interne, l'endocrinologie, la gastrologie, la pneumologie, l'infectieuse, la rhumatologie.....

Les résultats étaient comme suivis: les 32 services utilisent des glucomètres marque ACC-CHEEK pour dosage de la glycémie capillaire et le Labstix (analyse de l'urine par bandelettes pour la mise en évidence des troubles métaboliques, hépatiques et rénaux...).

Les cinq services de réanimation ainsi que le service des urgences utilisent la gazométrie pour dosage du P CO₂, PO₂ et du Ph.

3 services utilisent le test rapide pour le dépistage du VIH.

Pour 100% des services se sont les infirmiers qui réalisent les ABD et les consommables et les réactifs sont procurés dans la pharmacie du CHU.

Dans 20 services soit 62.5% c'est le chef de service qui est le responsable du choix des critères de fourniture du matériel et dans 37.5% qui restent c'est le major du service.

Pour les 32 services, il existe un inventaire conservé de tout le matériel, comprenant le numéro de série, le nom du fabricant/fournisseur, la date de l'achat et un historique de l'entretien.

Un seul service soit 3% déclare l'existence d'un programme de formation théorique et pratique appropriée pour tout le personnel chargé des ABD avec des intervalles de recyclage assurées par les fournisseurs du matériel et réactifs.

Pour les 32 services soit le 100%, les biologistes de l'hôpital ne sont pas informés de la réalisation de la biologie délocalisée au sein de leurs services et ne participent pas au choix des appareils, ainsi qu'il n'existe pas de liaison informatique entre les appareils de BD et le laboratoire de l'hôpital.

Seuls deux services de réanimation soient 6.2 % déclarent qu'une maintenance périodique des dispositifs est assurée par les techniciens de la société sans préciser la fréquence, avec absence des procédures écrites de maintenance et d'utilisation du matériel et absence d'enregistrement des matériaux et réactifs achetés.

Un seul service déclare la présence des manuels de procédures mis à la disposition de tous les utilisateurs pour chaque système d'ADBD.

Aucun service ne dispose d'un responsable qualifié chargé du contrôle qualité interne, ni réalise des contrôles internes de la qualité et aucun service ne participe à l'évaluation externe de la qualité.

Les six services réalisant la gazométrie n'assurent pas la calibration (étalonnage) de leurs appareils de biologie délocalisée.

Les 32 services confirment qu'ils gardent une trace écrite des résultats des analyses réalisées en biologie délocalisée, classée dans le dossier du patient sans qu'elle fait objet de compte rendu suffisamment détaillé et sans que le nom de la personne effectuant l'analyse soit mentionné.

Et en fin aucun service ne réalise un audit qualité.

4 DISCUSSION

Ce travail nous a permis de révéler les problèmes de biologie délocalisée de notre CHU à savoir; les consommables et les réactifs sont procuré dans des milieux inadéquats, les biologistes de l'hôpital ne participent pas au choix des appareils ni au validation des résultats des analyses, il n'existe pas une liaison informatique entre les appareils de biologie délocalisée et les laboratoires des hôpitaux, le personnel qui utilise les appareils n'a pas suivi une formation spécifique, la maintenance, les contrôles de qualité internes, l'évaluation externe de qualité ainsi que la calibration des appareils de biologie délocalisée ne sont pas fait régulièrement, il y avait pas une documentation relative à l'utilisation de ces appareils de biologie délocalisée (les procédures et/ou les modes opératoires).....

La biologie délocalisée représente un coût important par sa mise en place en milieu hospitalier, son cadre légal n'est pas complètement défini [2].

L'intérêt de la biologie délocalisée est notable en milieu hospitalier pour une bonne orientation du patient et pour un gain de temps dans la prise en charge du patient en services d'urgence et notamment en cas d'urgence vitale [3], d'où la nécessité d'un contrôle régulier de la formation du personnel, de la maintenance du matériel et de la gestion du consommables, et d'où l'intérêt de mener des actions correctives afin d'établir un processus assurant la qualité des analyses réalisées dans les services cliniques [4], [5].

5 CONCLUSION

La biologie délocalisée se développe depuis quelques années et prend une place de plus en plus importante dans la stratégie diagnostique en urgence d'où la nécessité d'une formation adaptée et des mises à jour régulières des personnels pratiquants, ainsi que le respect des bonnes pratiques qui répondent aux exigences normatives.

REFERENCES

- [1] Examens de biologie médicale délocalisés - 03/03/15 [90-65-0050-A] - Doi: 10.1016/S2211-9698 (15) 67463-5 P. Pernet Biologiste des hôpitaux, praticien hospitalier Service de biochimie, site Saint-Antoine, pôle de biologie médicale et pathologie, AP-HP, Hôpitaux universitaires Est Parisien, 184, rue du Faubourg-Saint-Antoine, 75571 Paris cedex 12, France.
- [2] E. BONANNI, Y. DUPONT, D. RERBAL, Chapitre 86, Biologie délocalisée des urgences.
- [3] Pr Henri portunal. Biologie délocalisée: quel paramètres et à quelle organisation 43 colloque national des biologistes des hopitaux. jeudi 6 novembre 2014.
- [4] Analyses de biologie délocalisées (ADBD) — Exigences concernant la qualité et la compétence. Point-of-care testing (POCT) — Requirements for quality and competence. Normes ISO 22870. Première édition 2006-02-01.
- [5] Exigences pour l'accréditation selon la norme NF en ISO 15189 SH REF 02 Révision 05.

Etude comparative de la variabilité de la Procalcitonine et de la C-Réactive Protéine dans le Syndrome Respiratoire Aigu Sévère à Coronavirus-2SARS-CoV-2, chez les patients hospitalisés en réanimation

[Comparative study of procalcitonin and C-Reactive Protein variability in Coronavirus-2SARS-CoV-2 Acute Respiratory Syndrome in hospitalized patients in resuscitation]

Morjan Asmaa¹⁻², Omari Mohamed¹⁻³, Elmernissi Zakaria¹, and Kamal Nabiha¹⁻²

¹Laboratoire de biochimie, CHU Ibn Rochd de Casablanca, Morocco

²Laboratoire d'Immunologie Clinique et d'Immuno-Allergie (LICIA), Faculté de Médecine et de Pharmacie, Université Hassan II, Casablanca, Morocco

³Faculté des sciences juridiques, économiques et sociales, Mohammedia, Université Hassan II, Casablanca, Morocco

Copyright © 2021 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 Covid-19 outbreak is a global pandemic officially declared on March 12, 2020, with more than two million deaths. To assess the role of Procalcitonin as a biomarker of the specific inflammatory response and C-Réactive Protein as a stable and early biomarker of acute inflammation in pathogenesis and disease severity, we conducted a prospective descriptive study in the biochemistry laboratory of the Ibn Rochd University Of Casablanca Morocco in Covid-19 positive patients hospitalized in resuscitation. These biomarkers were abnormally increased in most of these patients. All of the patients who died had a positive admission CRP that would support a positive correlation between the increase in CRP and the severity of infection, without any correlation between CRP values in our study population with age or sex. The follow-up of the PRC could reflect its severity and should be used as a key monitoring indicator for Covid-19. PCT values at admission can predict the progression to a severe form of the disease. However, its synthesis is inhibited by interferon (INF) - γ , whose concentration increases during Coronavirus-2 infection.

KEYWORDS: Covid-19, Resuscitation, PCT, CRP, Variability.

RESUME: La flambée de la Covid-19 constitue une pandémie mondiale déclarée officiellement le 12 mars 2020 dont le nombre de décès a dépassé les deux millions. Pour évaluer le rôle de la Procalcitonine comme biomarqueur de la réponse inflammatoire spécifique et la C-Réactive Protéine comme biomarqueur stable et précoce de l'inflammation aigue dans la pathogénie et la gravité de la maladie, nous avons mené une étude prospective à visée descriptive au sein du laboratoire de biochimie du CHU Ibn Rochd de Casablanca Maroc chez les patients Covid-19 positifs hospitalisés en réanimation. Ces deux biomarqueurs ont été anormalement augmentés chez la plupart de ces patients. La totalité des patients décédés, avaient une CRP positive à l'admission qui serait en faveur d'une corrélation positive entre l'augmentation de la CRP et la gravité de l'infection, sans aucune corrélation entre les valeurs de la CRP chez notre population d'étude avec l'âge ou le sexe. Le suivi de la CRP pourrait refléter sa gravité et devrait être utilisé comme indicateur clé de surveillance de la Covid-19. Les valeurs de la PCT à l'admission peuvent prédire l'évolution vers une forme sévère de la maladie. Néanmoins, sa synthèse est inhibée par l'interféron (INF) - γ , dont la concentration augmente au cours de l'infection au Coronavirus-2.

MOTS-CLEFS: Covid-19, réanimation, PCT, CRP, variabilité.

1 INTRODUCTION

En Décembre 2019, des patients ayant été liés, sur le plan épidémiologique, à un marché de gros de fruits de mer et d'animaux humides dans la province du Hubei à Wuhan en Chine, ont été admis dans les services d'urgences pour un diagnostic initial de pneumonie d'étiologie inconnue [1], [2].

Le directeur général de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), a annoncé le 11 février 2020, à Genève que le virus avait été rebaptisé Covid-19: « Co » désigne la famille des Coronaviridae, « Vi » désigne virus, « D » désigne disease (maladie en anglais) et « 19 » puisque cette maladie a été apparue à la fin de l'année 2019.

Le jeudi 12 mars 2020, l'OMS déclare officiellement que la flambée de la Covid-19, constitue une pandémie mondiale.

Actuellement, le Covid-19 a conduit à plus de **178 millions** cas déclarés positifs et **3.86 millions** décès dans le monde entier jusqu'au lundi 21 Juin 2021 à 15h00 GMT.

La Procalcitonine (PCT) ou bien la pré-hormone de la calcitonine, synthétisée par les glandes parathyroïdes, est un nouveau biomarqueur de la réponse inflammatoire spécifique de l'infection bactérienne, parasitaire ou fongique [3].

La C-Réactive Protéine (CRP) est un marqueur biologique stable et précoce de l'inflammation aiguë, synthétisé par les cellules hépatiques et les cellules adipeuses. Cette synthèse est stimulée par l'interleukine-6 (cytokine pro-inflammatoire de l'immunité innée) [4].

Ces deux biomarqueurs de l'inflammation et de l'infection, surtout la CRP, ont été anormalement augmentés chez la plupart des patients Covid-19 positifs, hospitalisés en réanimation du CHU Ibn Rochd de Casablanca au Maroc d'où l'intérêt d'élucider le mécanisme de leur augmentation dans l'infection à Coronavirus-2 du Syndrome Respiratoire Aigu Sévère (SRAS-CoV-2).

Les objectifs de cette étude sont d'une part, d'étudier l'évolution de la CRP et de la PCT lors de cette infection et de comparer leur variabilité avec l'âge et le sexe. D'autre part, d'évaluer la corrélation entre l'augmentation de ces deux paramètres et la gravité de la Covid-19, chez les patients hospitalisés en réanimation du CHU Ibn Rochd de Casablanca.

2 PATIENTS ET MÉTHODES

2.1 TYPE D'ÉTUDE ET POPULATION

Il s'agit d'une étude prospective à visée descriptive réalisée au sein du laboratoire de biochimie du CHU Ibn Rochd de Casablanca, entre le 05/03/2020 et le 10/05/2020, portant sur l'analyse biologique de la CRP et de la PCT des patients Covid-19 positifs hospitalisés en réanimation du CHU Ibn Rochd.

Durant cette période, 85 patients atteints du SRAS-CoV-2 confirmée par PCR et hospitalisés en réanimation, ont été inclus.

2.2 MÉTHODES D'ÉTUDE

- a. Le dosage de la CRP était effectué, sur un prélèvement de sang veineux sur tube sec, par technique Immunoturbidimétrique (Automate Architect Ci8200).

La limite de détection est de 5 mg/l.

La limite de linéarité est de 480 mg/l.

La valeur de référence < 5 mg/l

- b. Le dosage de la Procalcitonine était effectué par technique immunométrique (Chimiluminescence), sur prélèvement de sang veineux (Automate Architect Ci8200).

Les valeurs de référence sont:

PCT < 0,5 ng/l: Infection systémique peu probable

PCT: 0.5 - 2 ng/l: Infection systémique possible

PCT: 2-10 ng/ml: Infection systémique probable avec risque élevé de sepsis sévère

PCT > 10 ng/ml: Choc septique

La limite de linéarité: > 100 ng/ml

2.3 VARIABLES ÉTUDIÉS

Pour chaque patient, ont été considérés l'âge, le sexe et pour l'évolution de chacun des deux paramètres: la valeur maximale, la valeur minimale, la moyenne, l'écart type (ET) et le coefficient de variation (CV).

Le taux de mortalité, chez la population étudiée, a été calculé.

2.4 ANALYSES STATISTIQUES

Le recueil et l'exploitation des données ont été réalisés par le logiciel Microsoft Office Excel, l'analyse statistique a été faite sur le logiciel SPSS version 23. Le test statistique utilisé était le test KHI-Deux et la Corrélation de Pearson.

3 RÉSULTATS

Durant la période d'étude, 85 patients ont été inclus pour lesquels, la CRP a été réalisée dans 732 prélèvements et a été supérieure à 5 mg/l dans 652, soit 89 %.

Concernant la PCT, chez les 85 patients étudiés, 46 avaient tous les valeurs inférieures à 0,5 ng/l, soit 54.11%; 22 avaient au moins une valeur incluse dans l'intervalle [0.5 ng/l- 2ng/l], soit 25.88%; 7 avaient au moins une valeur incluse dans l'intervalle [2 ng/l-10 ng/l] soit 8.23% et 10 avaient au moins une valeur supérieure à 10 ng/l, soit 11.76 %.

Les hommes représentaient 64% des patients (49) et les femmes 36% (31), soit un sexe ratio homme/femme de 1.58.

La moyenne d'âge des patients est de 58 ans, avec des extrêmes de 9 à 88 ans.

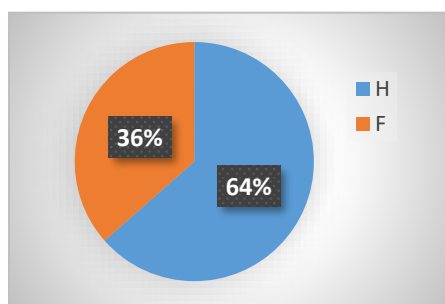


Fig. 1. Répartition des patients selon le sexe

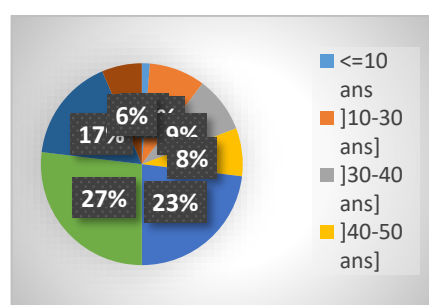


Fig. 2. Répartition des patients selon la tranche d'âge

3.1 RÉSULTATS DES STATISTIQUES DESCRIPTIVES DE L'ÉCHANTILLON

Concernant les patients Covid-19 positifs ayant une valeur de la PCT < à 0.5 ng/l, le CV de la PCT est inclus dans l'intervalle 0,71-18,4 et celui de la CRP dans l'intervalle 1,01-41,98 (tableau 1, Annexe).

Concernant les patients Covid-19 positifs ayant une valeur de la PCT [0.5-2ng/l], le CV de la CRP est inclus dans l'intervalle 0,88-7,54 et celui de la PCT dans l'intervalle 0,46-4,41 (tableau 2, Annexe).

Concernant les patients Covid-19 positifs ayant une valeur de la PCT [2-10ng/l], le CV de la PCT est inclus dans l'intervalle 0,12-1,15 et celui de la CRP dans l'intervalle 1,2-19,06 (tableau 3, Annexe).

Concernant les patients Covid-19 positifs ayant une valeur de la PCT < 0.5 ng/l, le CV de la PCT est inclus dans l'intervalle 0,45-24,62 et celui de la CRP dans l'intervalle 0,92-9,35 (tableau 4, Annexe).

3.2 TEST DE KHI-DEUX (P VALUE < 5 %)

a. Test de KHI-Deux sur l'association de la variabilité de la CRP en fonction du sexe:

Tableau 5: Tests du Khi-deux CRP			
	Valeur	Ddl	Signification asymptotique (bilatérale)
Khi-deux de Pearson	64,000 ^a	63	,441
Rapport de vraisemblance	83,591	63	,042
N d'observations valides	64		

Source: Les auteurs

b. Test de KHI-Deux sur l'association de la variabilité de la PCT en fonction du sexe:

Tableau 6: Tests du Khi-deux PCT			
	Valeur	Ddl	Signification asymptotique (bilatérale)
Khi-deux de Pearson	57,485 ^a	60	,568
Rapport de vraisemblance	75,274	60	,088
N d'observations valides	64		

Source: Les auteurs

Les résultats de ces deux derniers tableaux montrent que le P-Value est $> 5\%$.

Il n'y a donc pas une association entre le sexe et le CV de la CRP et de la PCT des patients.

Cela veut dire que la variabilité de ces deux paramètres ne dépend pas de la variable sexe.

3.3 TEST DE CORRÉLATION DE PEARSON (P VALUE < 5%)

a. Le test de corrélation de Pearson, évaluant la corrélation entre le CV des résultats de la CRP et la PCT des patients a donné les résultats suivants:

Tableau 7: La corrélation entre le CV de la CRP et la PCT			
		V5	V6
V5	Corrélation de Pearson	1	,223
	Sig. (bilatérale)		,076
	N	64	64
V6	Corrélation de Pearson	,223	1
	Sig. (bilatérale)	,076	
	N	64	64

Source: Les auteurs

Ces résultats montrent que le P-Value est $> 5\%$.

Il n'y a donc pas une corrélation entre les CV de la CRP et de la PCT des patients.

b. Relation entre la variable âge et le CV des CRP des patients:

Tableau 8: La corrélation entre l'âge des patients et le CV de la CRP			
		V4	V5
V4	Corrélation de Pearson	1	,075
	Sig. (bilatérale)		,556
	N	64	64
V5	Corrélation de Pearson	,075	1
	Sig. (bilatérale)	,556	
	N	64	64

Source: Les auteurs

c. Relation entre la variable âge et le CV des PCT des patients:

Tableau 9: La corrélation entre l'âge des patients et le CV de la PCT			
		V4	V6
V4	Corrélation de Pearson	1	-,194
	Sig. (bilatérale)		,124
	N	64	64
V6	Corrélation de Pearson	-,194	1
	Sig. (bilatérale)	,124	
	N	64	64

Source: Les auteurs

Les résultats de ces deux derniers tableaux montrent que le P –Value est > 5%.

Il n'y a donc pas une corrélation entre l'âge des patients et les CV de la PCT et de la CRP.

4 DISCUSSION

Les Coronavirus humains (HCoV) constituent la sous-famille Orthocoronavirinae de la famille des coronaviridae. Se sont des virus à couronne ARN monocaténaire de sens positif, responsables d'infections respiratoires modérées chez la population normale et d'infections plus sévères chez les populations à risque. Particulièrement chez les enfants, les sujets âgés ou immunodéprimés, les HCoV sont impliqués dans 2 à 7 % des hospitalisations consécutives à une infection respiratoire [7].

La fièvre, la toux et la fatigue constituent les symptômes généraux de l'infection Covid-19. Les autres symptômes sont la production d'expectorations, l'hémoptysie, les céphalées, la lymphopénie, la diarrhée et la dyspnée [8], [9], [10], [11].

Ces symptômes de l'infection COVID-19, sont généralement accompagnés d'une CRP, de cytokines et de chimiokines significativement élevés dans le sang. Une étude faite à Wuhan en Chine a montré que les cas graves admis en réanimation avaient des niveaux élevés de cytokines pro-inflammatoires, surtout les interleukines et la TNF α , ce qui favorise la gravité de la maladie [10].

Pour mieux comprendre la physiopathologie et le mécanisme d'action de ce nouveau virus plusieurs études récentes sont menées dans ce sens. Ces études ont montré jusqu'aujourd'hui que le Coronavirus-2 a une affinité pour le récepteur de l'Enzyme de Conversion de l'Angiotensine-2 (ACE2), dans les voies respiratoires inférieures chez l'Homme, où il se fixe afin d'atteindre les cellules pulmonaires [12], [13].

Ces récepteurs de l'ACE2 se trouvent également dans d'autres tissus de l'organisme notamment les artères, le cœur, le rein et l'appareil digestif [14].

L'augmentation des cytokines inflammatoire et l'invasion virale de la réponse immunitaire à médiation cellulaire ont un rôle important dans la pathogénie et la gravité de la maladie [15]. En fait, le Coronavirus-2 entraîne une élévation importante de chimiokines notamment INF γ et cytokines inflammatoires notamment TNF α favorisant ainsi des lésions pulmonaires qui nécessitent une hospitalisation en réanimation [10].

Une étude faite par Hussin A. et al a montré que, les patients infectés par Coronavirus-2 présentaient une hyperleucocytose, des résultats respiratoires anormaux et une nette augmentation des cytokines plasmatiques pro-inflammatoires [16].

Une autre étude, faite en Chine à Wuhan a montré également qu'il y a une augmentation significative des cytokines et des chimiokines inflammatoire chez les patients Covid-19 positifs, essentiellement: IL1- β , IL1RA, IL7, IL8, IL9, IL10, FGF2 de base, GCSF, GMCSF, IFN γ , IP10, MCP1, MIP1 α , MIP1 β , PDGFB, TNF α et VEGFA. Les cas graves hospitalisés en réanimation présentaient des niveaux élevés de cytokines pro-inflammatoires, essentiellement: IL2, IL7, IL10, GCSF, IP10, MCP1, MIP1 α et TNF α , ce qui favorise la gravité de la maladie [10].

Une étude faite par Matsumoto a montré qu'il y a une corrélation entre les niveaux de CRP et le diamètre de la lésion pulmonaire et l'évolution de la maladie, les deux augmentaient à mesure que la maladie progressait [17].

Une autre étude faite par WANG Ling suggère que les niveaux de la CRP pourraient refléter la gravité de la Covid-19 [18].

Le taux de mortalité dans notre étude est de 21.17 % (18 patients parmi les 85 sont décédés).

La totalité des patients décédés, avaient une CRP positive à l'admission (variant de 74 à 1273 mg/l) qui serait en faveur d'une corrélation positive entre l'augmentation de la CRP et la gravité de l'infection au Coronavirus-2.

Néanmoins, aucune corrélation n'a été trouvée entre les valeurs de la CRP chez notre population d'étude avec l'âge ou le sexe.

La PCT est la pré-hormone de la calcitonine. Plusieurs études ont évalué l'intérêt de ce marqueur chez les patients hospitalisés dans les unités de soins intensifs dans diverses situations où il est difficile de différencier l'origine infectieuse ou non de la réponse inflammatoire systémique. Ces études ont montré que des taux élevés de PCT peuvent être constatés en cas de réponse inflammatoire systémique, pas forcément d'origine infectieuse [3].

La PCT a été décrite par une méta-analyse de plusieurs études impliquant des patients positifs au Coronavirus-2, comme ayant un rôle pour prédire l'évolution vers une forme de maladie plus sévère [19].

Selon une étude japonaise sur l'utilité de la mesure de la PCT et son rapport avec le degré de gravité chez les patients ayant une pneumonie communautaire; à l'admission, la PCT sérique était plus élevée chez les patients qui sont décédés que chez les patients ayant guéris; d'où l'intérêt du dosage de la PCT à l'admission qui pourrait avoir une valeur prédictive du pronostic [20].

Une étude faite à Wuhan sur 142 patients infectés par le Coronavirus-2 a donné des résultats similaires aux nôtres, avec augmentation de la CRP chez la majorité des patients (91,9%), tandis qu'une concentration accrue de PCT sérique était relativement moins fréquente (34,7%) [20].

En effet, dans notre étude, seulement 45.89 % des patients avaient au moins une valeur de PCT supérieure à 0.5 ng/l, versus 89% de patients avec une CRP positive.

Egalement, seulement 27.77 % des patients décédés avaient une valeur de PCT augmentée à l'admission (valeurs allant de 0,01 à 555 ng/l), versus 100% de patients qui avaient une CRP positive.

La synthèse de la PCT et sa libération dans la circulation sont considérablement amplifiées lors des infections bactériennes, fongiques et parasitaires, activement soutenues par des concentrations accrues d'interleukine (IL-1 β), de Facteur de Nécrose Tumorale (TNF) - α et d'IL-6. Par contre, la synthèse de ce biomarqueur est inhibée par l'interféron (INF) - γ , dont le taux augmente dans les infections virales. Ce qui explique que la valeur de la Procalcitonine reste plus ou moins dans la fourchette de référence chez plusieurs patients atteints d'une infection non compliquée.

5 CONCLUSION

La CRP et la PCT sont deux marqueurs biologiques de l'inflammation dont l'évolution ne dépend pas des variables sexe et âge.

Les valeurs de la PCT à l'admission peuvent prédire l'évolution vers une forme sévère de la maladie. Néanmoins, sa synthèse est inhibée par l'interféron (INF) - γ , dont la concentration augmente au cours de l'infection au Coronavirus-2.

Des valeurs de la CRP positives à l'admission ont été observées chez la majorité des patients hospitalisés en réanimation. Son suivi pourrait refléter sa gravité et devrait être utilisé comme indicateur clé de surveillance de la Covid-19.

REFERENCES

- [1] Bogoch, A. Watts, A. Thomas-Bachli, C. Huber, M.U.G. Kraemer, K. Khan, Pneumonia of unknown etiology in wuhan, China: potentia lfor international spread via commercial air travel, *J. Trav. Med.* (2020), <https://doi.org/10.1093/jtm/taaa008>.
- [2] H. Lu, C.W. Stratton, Y.W. Tang, Outbreak of pneumonia of unknown etiology in wuhan China: the mystery and the miracle, *J. Med. Virol.* 92 (4) (2020) 401–402, <https://doi.org/10.1002/jmv.25678>.
- [3] C. Venet, B. Tardy, F. Zéni* Marqueurs biologiques de l'infection en réanimation chez l'adulte: place de la Procalcitonine Service d'urgence et de réanimation, hôpital Belle vue, CHU-Hôpitaux de Saint-Étienne, 42055 Saint-Étienne cedex 2, France (Reçu et accepté le 21 janvier 2022).
- [4] Tillett WS. Francis T. Serological reactions in pneumonia with a non-protein somatic fraction of *Pneumococcus*. *J Exp Med* 1930; 52: 561-71,.
- [5] Clyne B, Olshaker JS, the C-reactive protein. *J Emerg Med* 1999; 17: 1019-25.
- [6] Kolb-Bachofen V. A review on the biological properties of C-reactive protein. *Immunobiology* 1991; 183: 133-45.
- [7] Nathalie Kina, Astrid Vabretb, Les infections à coronavirus humains. *Revue francophone des laboratoires* - décembre 2016 - n° 487.
- [8] W. Wang, J. Tang, F. Wei, Updated understanding of the outbreak of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) in Wuhan, China, *J. Med. Virol.* 92 (4) (2020) 441–447, <https://doi.org/10.1002/jmv.25689>.
- [9] L.L. Ren, Y.M. Wang, Z.Q. Wu, Z.C. Xiang, L. Guo, T. Xu, et al, Identification of a novel corona virus causing severe pneumonia in human: a descriptive study, *Chinese Med J* (2020), <https://doi.org/10.1097/CM9>.
- [10] C. Huang, Y. Wang, X. Li, L. Ren, J. Zhao, Y. Hu, et al., Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China, *Lancet* 395 (10223) (2020) 497–506, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5).
- [11] W.G. Carlos, C.S. Dela Cruz, B. Cao, S. Pasnick, S. Jamil, Novel wuhan (2019-nCoV) coronavirus, *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 201 (4) (2020) 7–8, <https://doi.org/10.1164/rccm.2014P7>.
- [12] Hoffmann M, Kleine-Weber H, Schroeder S, Krüger N, Herrler T, Erichsen S, et al. SARS-CoV-2 Cell Entry Depends on ACE2 and TMPRSS2 and Is Blocked by a Clinically Proven Protease Inhibitor. *Cell* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.02.052>.
- [13] Zhou P, Yang XL, Wang XG, et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *Nature* 2020.10.1038/s41586-020-2012-7.
- [14] Gu J, Gong E, Zhang B, Zheng J, Gao Z, Zhong Y, et al. Multiple organ infection and the pathogenesis of SARS. *J Exp Med* 2005; 202: 415–24. <https://doi.org/10.1084/jem.20050828>.
- [15] Channappanavar R, Perlman S. Pathogenesis of human coronavirus infections: causes and consequences of cytokine storm and immunopathology. *Semin Immunopathol* 2017; 39: 529–39. <https://doi.org/10.1007/s00281-017-0629-x>
- [16] Hussin A. Rothana, Siddappa N. Byrareddy, The epidemiology and pathogenesis of coronavirus disease (COVID-19) Outbreak *Journal of Autoimmunity* <https://doi.org/10.1016/j.jaut.2020.102433>.
- [17] Matsumoto Hiroki, Kasai Takatoshi, Sato Akihiro, Ishiwata Sayaki, Yatsu Shoichiro, Shitara Jun, Murata Azusa, Kato Takao, Suda Shoko, Matsue Yuya, Hiki Masaru, Takagi Atsutoshi, Daida Hiroyuki. Association between C-reactive protein levels at hospital admission and long-term mortality in patients with acute decompensated heart failure. *[J]. Heart and vessels*, 2019; 34 (12): 1961-1968.
- [18] Ling W, C-reactive protein levels in the early stage of COVID-19, *Medicine et Maladies Infectieuses* (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.medmal.2020.03.007>.
- [19] Procalcitonin in patients with severe coronavirus disease 2019 (COVID-19): A meta-analysis Giuseppe Lippia, Mario Plebanib, Section of Clinical Biochemistry, Department of Neuroscience, Biomedicine and Movement, University of Verona, Verona, Italyb Department of Laboratory Medicine, University Hospital of Padova, Padova, Italy *Clinica Chimica Acta* 505 (2020) 190–191.
- [20] Zhang J-J, Dong X, Cao Y-Y, et al. Clinical characteristics of 140 patients infected with SARS-CoV-2 in Wuhan, China. *Allergy*. 2020; 00: 1–12. <https://doi.org/10.1111/all.14238>.

Evaluation of Human Resources Information System Success in public sector

Abdelilah El Attar¹ and Youssef Mazouz²

¹Economics and Management Professor, Mohamed, 1st University, Oujda, Morocco

²PhD researcher, LURIGOR, Mohamed, 1st University, Oujda, Morocco

Copyright © 2021 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 is an empirical test of an adaptation of the DeLone and McLean Information System (SI) success model in the context of human resource management in a Moroccan public administration. The model has 6 dimensions: quality of information, quality of system, quality of service, use, user satisfaction and perceived net benefit. The auxiliary condition demonstrating strategies were connected to the information collected from a survey, given over to 120 officials of a large Moroccan ministry. The hypothetical relationships between the six success variables are largely confirmed by the data. The results obtained have several important implications on the topic of human resources research and practices too. This article concludes by talking about the impediments of the research, which ought to be tended to in future investigate.

KEYWORDS: Evaluation, Information System, Success, Human resources, Public sector.

1 INTRODUCTION

In recent years, the Moroccan government has focused on public sector reform, with an aim to make its organizations more efficient and more citizen-oriented.

In this regard, it is necessary to shed light on the evolution of the public sector in terms of expenditure and complexity of the information system, and its implementation that has become undeniably coveted by all the providers of public sector services.

Subsequently, there has been an uncertainty and unpredictability associated with costs and benefits' assessments in the public sector.

This situation highlights the need for an assessment of information systems in public sector organizations. Earlier studies assessing the success of public sector information systems have been undoubtedly limited, despite the fact that these information systems have had a significant impact on the way in which public services have been provided in recent years.

Most of the research published regarding the public sector information system consists of case studies or theoretical frameworks focused on the analysis of a particular implementation of an Electronic Government [1]. This electronic government must overcome the big challenge: once implemented, the use of the information system does not last perpetually and investments are often wasted [2]. These findings are supported by international findings showing a percentage that covers between 70% to 80% of the implementations of electronic administration that do not allow us to obtain filtered results [3]. This makes measuring the success of information systems essential in order to be used as a determiner for overall government results.

Current approaches used by governments to measure the success of online administrations initiatives tend to replicate those of business enterprises by focusing on functional results and economic measures such as investment returns and cost reduction [4]. Nevertheless, public sector's information systems wander from approaches utilized within the private sector in a way that they "regularly include strategic goals that go past efficiency, effectiveness and economy, and incorporate political and social objectives such as reliability [5]. However, the use of information systems in the public sector will make it easier for citizens to access non-governmental service providers. This requires an adaptive and an aggregate approach to determine the success of online administrations initiatives in achieving the desired results in public policy.

In this regard, and within this study, an online administration is defined as “a coherent collection of infrastructures, information, services and capacities within which communities can interact, engage, develop and make use of their own opportunities, markets and progress” [6].

This article aims to broaden the understanding of the success of the information system's dimensions as a factor influencing the performance of Public Administration. In this context, this study will be conducted in a large Moroccan Ministry to measure the success of a human resources information system (HRIS) using the success model of [7] as Theoretical framework.

2 THEORETICAL FRAMEWORK

The Time Management system of access and access Control system is a special type of HR Information System. Therefore, in this section, we first review the theoretical underpinnings and the conceptualization of the success of HRIS based on previous studies of the success of information systems; to underline the importance of the information system that is the subject of our research.

2.1 THEORETICAL FOUNDATIONS

In their endeavor to structure the horde of factors related with the differences of information system successes, [8] made an investigation in this respect, but they did not test it broadly sufficient (more than 100 observational articles concerning measures of IS success between 1981 and 1988). Delone and Mclean concluded that the calculation of input factors such as client participation or IT ventures in IS was barely important on the off chance that the subordinate or yield variable, the success of the IS, or the viability of the IS might not be assessed with the same exactness.

They contended that there were six fundamental variables within the success of the Information system, specifically: the characteristics of information system (System Quality), the quality of the result of the Information Systems (Information Quality), the quality of Information Technology service rendered to users (Service Quality) the utilization of the IS result (Use), the IS client reaction to the IS (client Satisfaction), its impact on client behavior (individual impact) and its impact on organizational execution (impact on the organization).

At the same time, [7] created their framework by considering that information is the output of an information system. They also similarly underline the nature of the data that could circulate within the organization. By returning to the works of [9] and [10], they famous that the effect of information on its recipient (client) can be measured at the specialized, semantic or adequacy level. The specialized level concerns the quality of how a framework transmits communication images, the semantic level concerns the clarification and elucidation of meaning by the beneficiary compared to the aiming meaning of the sender, and the proficiency level concerns the quality of how the meaning transmitted to the collector influences its behavior. Mason extended the model of Shannon and Weaver by labeling capability as an affect and talked to the levels inside the outline of an course of action of events happening at the accepting conclusion of an information system [10]. shows that the communication process has five stages: the generation of data, the item itself, the beneficiary of the data, its impact on the beneficiary, and its impact on the efficiency of the system. Mason clarifies that the level of reasonability joins the impact of the message on the behavior of the recipient (client). Hence, the assessment and application of data can alter the behavior of the user [11].

In terms of the Delone and Mclean's model, the system quality is unequivocally connected to the specialized level, as the information quality is connected to the semantic level, use, user satisfaction and individual impact are linked to the level of impact. The Delone and McLean's model takes the progression of levels of Shannon and Weaver as the premise for modeling system quality and information quality as drivers for use and user satisfaction. At that point, Delone and Mclean connected Mason's contentions to model the use and user satisfaction (response to the use of its results) as scenery of individual impact (behavioral information impact) and organizational impact. A key feature of the Delone and Mclean model is that user satisfaction is seen as an information system success variable, and that it is integrated into their information system success model [12]. have made numerous vital commitments to our understanding of the success of the information system. To begin with, they grant a model for categorizing the gigantic number of IS success measures utilized and detailed in earlier writing. According to [13], the investigation of the information system success has been incredibly formed by the model of Delone and Mclean [14]. also affirm that "the article of Delone and Mclean (demonstrate) is an critical commitment to the writing concerned with measuring the success of the information system since it is the primary think about that attempted to force a certain arrange on the choices of the analysts as respects for success. Second, they propose a model of transient and causal interdependency between categories and between developments. Third, their approach starts to distinguish different levels of organization within the appraisal prepare [13], [15].

Petter, DeLone, and McLean 2008 [16] appear a review of the later writing concerning measuring the success of data systems. In this way, they accepted the measures for the application and examination of the associations that make up Delone and Mclean's success show in an individual and organizational context. In another work, Urbach and Müller [17] investigate the current state of inquire about

concerning the success of information systems by analyzing and classifying later important articles based on their hypothetical establishments, their inquire about approach and their plan. The comes about appear that standard analysts analyze the effect of a particular sort of IS through client assessments gotten from overviews and basic condition modeling. The success model of DeLone and McLean is the most hypothetical premise for the studies surveyed. Some success models for evaluating specific sorts of IS - such as an agent section [17] or e-government [18] have been made from this theory.

2.2 THE INFORMATION SYSTEM UNDER STUDY

Our study concerns the Evaluation of a time and access management system, which is a Human Resources Information System (HRIS), applied within a large-scale Moroccan Ministry making it possible to ensure the following features:

- The management of the working time and absence of the ministry's workers through a real-time access system
- The optimization of working time with a flexible web solution that is easy to administer and operate;
- The management of all access events and transmit them in real time;

It is an Integrated System for the management of several options at once, namely, inter alia, the time, the access control of visitors, the management of alarms and online requests (Workflow); and this is via an Open Full Web solution allowing employees to access the system perfectly and without limits according to their profile.

On the other hand, it can be argued that this is a solution that can be easily used by all employees at any level, which could potentially lighten the work of HR Department.

3 RESEARCH MODEL

Within the setting of human resources administration, human resources work force use the systems to carry out human resources capacities, making human resources administration a communication and information system wonder that loans itself to the upgraded success of the system [7].

DeLone and McLean 2003 [7] affirm that the web application process fits well with their upgraded information system success show and the six measurements of success, and they empower other clients to proceed testing and putting to trial their model. The IS success show upgraded by DeLone and McLean 2003 [7] can be adjusted to the challenges of measuring a modern setting for online human resources administration. In any case, this study offers a total model of success for electronic human asset administration (see Figure 1), which recommends that the quality of information, the quality of the system, the service quality, use, client satisfaction and perceived net benefit are factors for the success of a human resources information system.

We have studied the definitions of the dimensions of the success model of the IS success model of DeLone and Mclean, and compared them with the properties specific to human resources management in HRIS and consolidated the diverse focuses of view in a reexamined classification construction. Hence, we have included the taking after measurements of victory in our hypothetical model:

The Information Quality, which emphasizes the quality of the output from an HRIS system (i.e. the quality of the information provided by HRIS) and its convenience to the client.

The information quality has proven to be an important success factor when examining the in general IS success, especially within the setting of web frameworks [19].

The Quality of System which comprises of electronic HRM measurement as a system in itself. In particular, it considers execution characteristics, convenience and ease of utilize [19]. However, the quality of the system can be considered as well as the degree of easy use of the system to accomplish tasks [20],

The service quality, which incorporates measures of the in general bolster connected to HRIS and given by the Service supplier. In this setting, the measurement of success covers viewpoints such as the reactivity, unwavering quality, compassion and competence of the capable benefit work force [21].

User satisfaction, is the emotional attitude towards an HRIS of an worker who interatomic specifically with him [22]. User satisfaction is one of the most important measures when looking at the overall success of information systems.

Use, which measures the actual perceived use of an HRIS by departmental human resources personnel.

The perceived net benefit of electronic HRM corresponds to the achievement of the company's objectives in terms of the use of electronic HRM and the achievement of the objectives linked to the end user. These benefits cover the actual benefits inferred from the utilize of HRIS for clients and incorporate a large number of benefits covering the impacts of HRIS, that workers infer from the utilize of HRIS. These benefits cover angles such as errand execution, work proficiency, quality improvement and cost reduction.

DeLone and McLean 2003 [7] propose that particular actors or partners may have particular conclusions around what is valuable to them or not. Analysts must characterize the accomplices and the setting in which the success of the information system or the net benefits must be measured [7]. Hence, this thinks about primarily centers on the employee's viewpoint and uses the six updated successes of the information system: quality of information, system quality, service quality, use of the system, user satisfaction and perceived net profit.

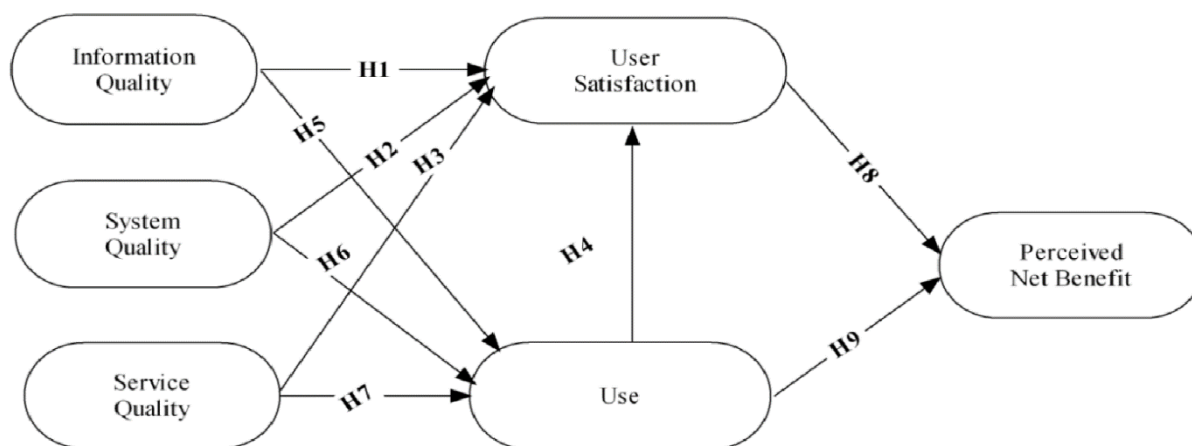


Fig. 1. Research Model

Source: [7]

The theoretical relationship between the HRIS success factors is based on the hypothetical and concrete work detailed by DeLone and McLean 2003 [7]. As they propose, the success model still has to be created and approved some time recently it can serve as the premise for the choice of fitting IS measures. Consequently, the study made the following nine hypotheses:

- H1. The quality of the information has a positive impact on user satisfaction.
- H2. The quality of the system has a positive impact on user satisfaction.
- H3. The quality of the service has a positive impact on user satisfaction.
- H4. Use have a positive impact on user satisfaction.
- H5. The quality of the information has a positive impact on use.
- H6. The quality of the system has a positive impact on use.
- H7. The service quality impact positively the use.
- H8. User satisfaction have a positive impact on the perceived net profit.
- H9. Use have a positive impact on the perceived net profit.

4 RESEARCH METHODOLOGY

In arrange to guarantee the legitimacy of the substance of the scales, the estimation scales for the collection of quantitative information were basically gotten from already confirmed sources. The concept of quality of information was measured employing a 7-point scale shape used by [23], with alterations adjusted to the particular setting of human resources management. Bailey and Pearson's way is widely accepted, its reliability and validity have been tested by several researchers and it has become a standard tool in the field of information systems. A four-point scale was adopted and refined from the instruments used by [24] to measure the quality construct of the system.

The benefit quality structure was measured utilizing a 5-item scale, and after that refined utilizing the way used by Chang, Wang, and Yang 2009 [25]. Use was measured utilizing a 4-item degree balanced from past considers [11], [26].

In this study, we assess satisfaction as an evaluative judgment relating to a specific inclusion of HRIS and the enthusiastic attitude toward human resources administration of the worker who interacts specifically with human resources administration [22]. This construction was measured with the Seddon and Yip [27] 4-item scale. HRIS perceives the characterized benefits as an accomplishment of the organization's goals within the utilize of HRIS and the accomplishment of end-user targets. These cover the real benefits determined from utilizing HRIS for clients and incorporate a bunch of benefits covering the impacts of HRIS. This was made operational by a six-point scale [24], [28]. All items were measured using a 5-point Likert scale with anchors ranging from strongly agree (5) to strongly disagree (1).

Once the estimation factors were created, the clear legitimacy of these factors was tried. Based on the comments gotten by the examiners from the researchers, the questions that were confounding or considered possibly troublesome to get it have been expelled or supplanted by unused reasonable components. Table 1 presents the investigate concepts and related overview things utilized to degree each of these concepts.

Table 1. The measuring variables for the questionnaire

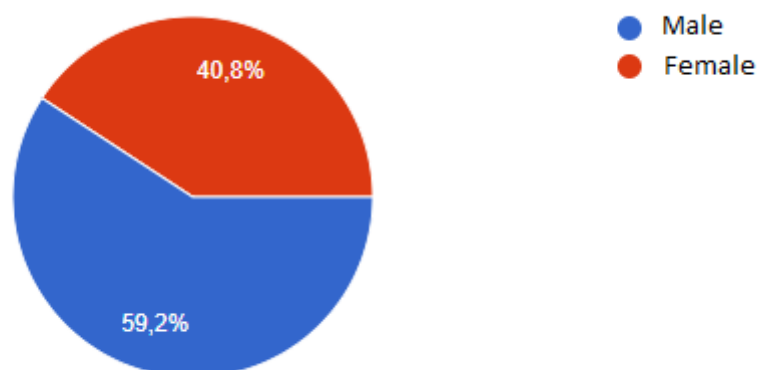
The Variables	Questions	Source
Quality of Information	QI1: The Time and Access Management system provides information corresponding exactly to your needs QI2: The Time and Access Management system provides at the right time the needed information. QI3: The Time and Access Management system provides enough information QI4: The Time and Access Management System provides easy to understand information QI5: The Time and Access Management system provides updated information	[23]
System quality	QS1: The Time and Access Management system is easy to use. QS2: The Time and Access Management system is ergonomic. QS3: The Time and Access Management system provides quick access to information. QS4: The Time and Access Management system gives intuitively functionality between clients and the system.	[24]
Service quality	QSV1: When users have a problem, the Time and Access Management system shows a sincere interest in solving it. QSV2: The Time and Access Management system insists on recordings without error. QSV3: The Time and Access Management system inform clients when the administrations will be performed. QSV4: Time and Access Management system make You feel in security. QSV5: The Time and Access Management system gives users special attention.	[25]
User Satisfaction	US1: Most users adopt a positive attitude or evaluation towards the function of the Time and Access Management System. US2: You think the perceived usefulness of the Time and Access Management system is high. US3: The Time and Access Management system answer to your expectations. US4: You feel satisfied with the Time and Access Management system.	[27].
Use	U1: The frequency of use with the Time Management and access system is high. U2: You depend on the Time Management and access system. U3: You were able to total a assignment using the Time and Get to Administration framework indeed in spite of the fact that there was no one around to let me know what to do as I went along. U4: You are able to use the Time and Access Management system.	[11], [26]
Net Benefit	NB1: The Time and Access Management system make you progress your performance. NB2: The Time and Access Management system helps the organization reduce costs. NB3: The Time and Access Management system make the organization reach its objectives. NB4: The use of the Time and Access Management system improves assessment and training needs. NB5: Using the Time Management and work access system increases my productivity. NB6: Overall, the use of the Time and Access Management system improves performance management.	[24], [28].

5 DATA COLLECTION

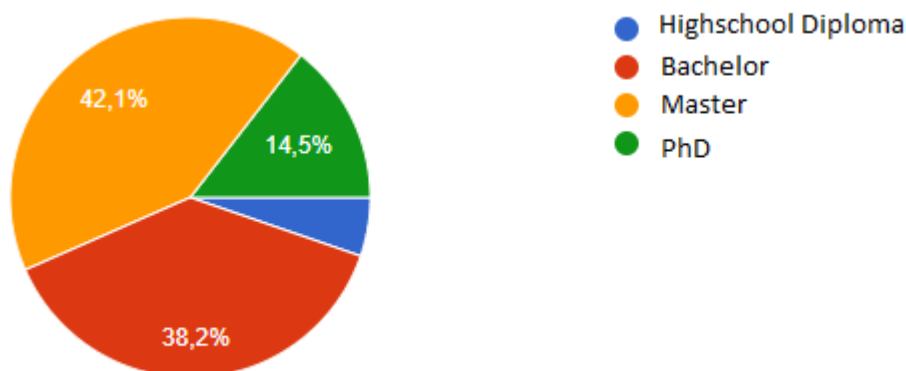
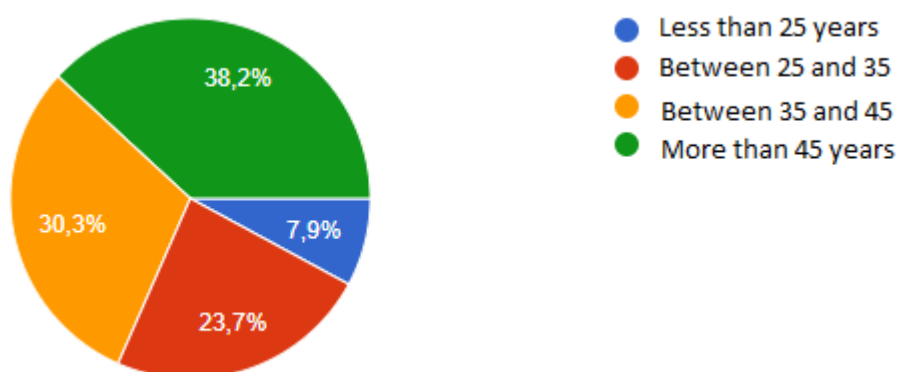
A sample of human resources (HR) and CIO managers and officials from a large-scale Moroccan Ministry has been used for collecting the data for this study. The research testing strategy is "focused on testing" which permits analysts to utilize their possess judgment to choose the appropriate population for the sample.

76 usable questionnaires were returned of the 120 distributed to public servants working in the department, representing an adequate response rate of 63.3%.

According to our sample, men made up a slightly higher percentage of the whole sample (about 60%) than women (about 40%).

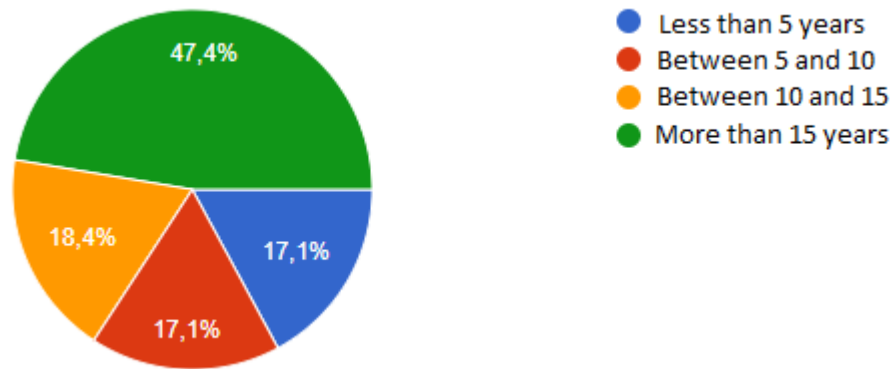


23.5% of the participants were aged 25 to 35 years, 30.3% were aged between 25 and 45 years old and 38.2% are older than the age of 45.



The complete sample was made up of well-educated people, about 42% of whom had a master's degree in engineering and 14.5% of whom were doctors.

Most of the participants were computer users. About 47% of the participants had more than 15 years of professional experience in using computers.



6 RESEARCH RESULTS

In order to test the hypotheses, two measures were used to evaluate the structural model: the statistical significance (t tests) of the estimated path coefficients and the ability of the model to explain the variance of the dependent variables R square (R^2). The R^2 results represent the amount of variance in the construct in question which is explained by the model [29]. Its purpose is to measure the explained variance of the dependent variable relative to its total variance.

The data analysis was done using the XLSTAT software through the implementation of latent and manifest variables, the results of the analysis are as follows:

Table 2. Coefficient Standard et R^2 (θ)

Hypotheses	PATH	β	R^2	decision
H1	Information quality $\Rightarrow$ Satisfaction	0.50	0.59	Confirmed
H2	Quality of the System $\Rightarrow$ Satisfaction	0.31		Confirmed
H3	Service quality $\Rightarrow$ Satisfaction	0.62		Confirmed
H4	Use $\Rightarrow$ Satisfaction	0.28		Confirmed
H5	Information quality $\Rightarrow$ Use	0.48	0.67	Confirmed
H6	System quality $\Rightarrow$ Use	0.33		Confirmed
H7	Service quality $\Rightarrow$ Use	0.52		Confirmed
H8	Satisfaction $\Rightarrow$ Net profit	0.56	0.56	Confirmed
H9	Use $\Rightarrow$ Net profit	0.14		Confirmed

Model Evaluation:

latent Variable	Type	Medium (Clear variables)	R^2	R^2 adjusted	Average Communities (AVE)	Average Redundancies	Rho de D.G.
IQ	Exogenous	0,000			0,648		0,901
SQ	Exogenous	0,000			0,667		0,889
SerQ	Exogenous	0,000			0,516		0,837
USE	Exogenous	0,000	0,591	0,580	0,568	0,336	0,840
USat	Exogenous	0,000	0,674	0,661	0,801	0,540	0,941
Netben	Exogenous	0,000	0,567	0,561	0,743	0,421	0,945
Average			0,611		0,658	0,432	

A significant impact has been reached on user satisfaction by the information quality ($\beta = 0.50$, $P < 0.001$), the quality of the system ($\beta = 0.31$, $P < 0.001$), the service quality ($\beta = 0.62$, $P < 0.001$) and use ($\beta = 0.28$, $P < 0.001$), therefore H1, H2, H3 and H4 were confirmed. A

significant impact has been also reached on Use by the information quality ($\beta = 0.48$, $P < 0.001$), the quality of the system ($\beta = 0.33$, $P < 0.001$) and the service quality ($\beta = 0.52$, $P < 0.001$), therefore H5, H6 and H7 were confirmed. A significant impact has been reached on the perceived net profit by user satisfaction and use, and therefore H8 and H9 were confirmed ($\beta = 0.56$, $P < 0.001$ and $\beta = 0.14$, $P < 0.001$, respectively).

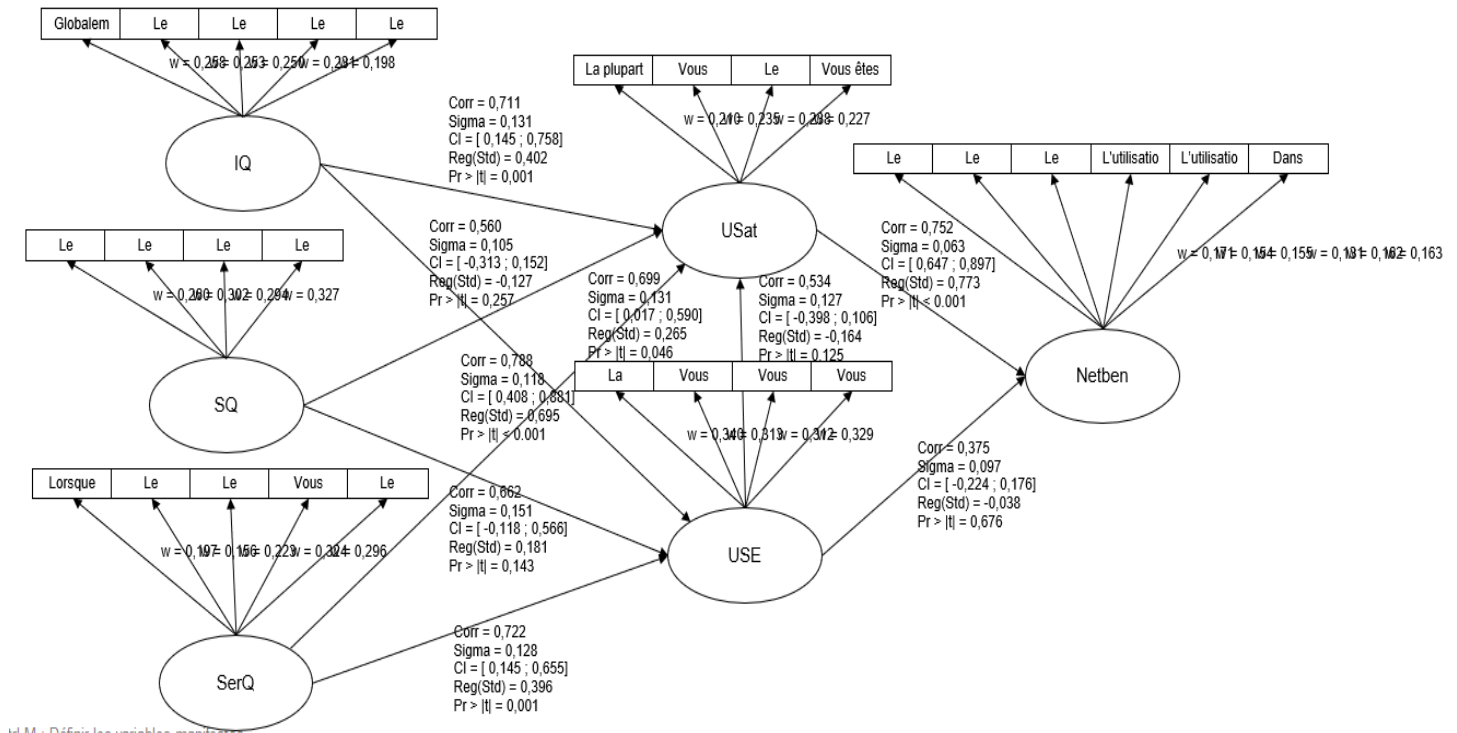


Fig. 2. The Model containing the search results

Among the three concepts related to quality, the quality of the information and that of the service had the most significant integral impact on the perceived net profit. The effects total and direct of the quality of information, the quality of the system, the quality of the service, the use and the satisfaction of the user on the perceived net profit show the standardized coefficient path as well as the variance explained.

7 DISCUSSION, LIMITATIONS AND FUTURE RESEARCH

In order to measure the success of the Time and Access Management system deployed in a Ministry in Morocco, a HRIS success measurement model was developed based on the updated IS success model by [7], which reports on the multidimensional nature of the success of an HRIS. The results show that the quality of information, the quality of the system, the service quality, use, user satisfaction and perceived net profit are substantial measures of the success of HRIS. The theoretical connections between the 6 factors were largely corroborated.

This study has a few organizing suggestions for the research and administration of an HRIS. Agreeing to the proposed model, it shows that the more precise measure of the success of the Time and Access Management system than the other five measures of success is the perceived net profit. It should develop if the perceived quality, use of the system and user satisfaction is managed appropriately. Thus, management attention could focus more effectively on the development of users' psychological and behavioral processes.

To fully reinforce the net profits perceived by users, public administrations must develop an HRIS with a better quality of information, systems and services, which will influence the behavior of use of the systems, on the users and on the assessment of their satisfaction, as well as the corresponding perceived net profits. In this model, it was found that the use of the system had a direct and total effect on the perceived net profit, which indicates the importance of its use to promote the perceived net profit of Rh staff and the decision makers. It is not enough to say that increased use will generate more profits regardless of the nature of that use DeLone and McLean [7], since the use of the system is a necessary condition for achieving the performance of the Rh Function and therefore the overall performance of the administration.

The results clearly show that the overall impacts of the information quality on use, user satisfaction and perceived net benefit are significantly more prominent than those of system quality and service quality. In other words, within the setting of an HRIS, convictions around the quality of information have a more overwhelming impact on user satisfaction, use and perceived net profit than convictions about quality of service and quality of system. Hence, respondents were more concerned with the quality of information. This implies that public administrations ought to pay an additional consideration to advancing the quality of information given by the human resource management system.

With the approach and improvement of Human Resources Management research (HRM), measuring several factors of HRIS success proceeds to be vital. This model gives a wealthy representation of the elements encompassing quality measure, the assessment of satisfaction, use and the net benefits perceived by the user. The results appear that public organization work force see the focal points of an HRIS since they have utilized it and are fulfilled with its data, the quality of its system and the quality of its services. Although system use and user satisfaction are usually recognized as valuable backhanded success measures of information success [22], [23], [30].

Our study suggests that the net benefit perceived by the user can be taken into account as a variable closer to success than the use of the system and user satisfaction. We will also try to confirm that use, user satisfaction and perceived net profit are complementary but distinct constructions, and that use depends in part on user satisfaction for its impact on the perceived net benefit of a HRIS.

From a reasonable opinion, this model offers public organizations a way to assess and expect the success of their HRIS, since HRIS is like all other IS, is multidimensional and interdependent.

professionals presently know more approximately the levers that offer assistance them progress their management of human resources through information technology and can arrange their IT projects consequently.

This study contribution to the theory comprises of an expansion and extra experimental tests of the success model of DeLone and McLean in a context different from those advocated by different researchers for example DeLone and McLean 2003; livari 2005 [7], [31]. Therefore, this research is among the studies that have tried to concretely validate a complete success model for an HRIS. In this way, our think about propels hypothetical improvement within the area of such systems, serving as a preface for future investigate. In expansion, using a set up data systems hypothesis as the hypothetical premise for a comparative think about, our consider endeavors to apply thorough inquire about to a commonsense and profoundly significant issue such as the assessment of an IS.

8 CONCLUSION

In this research we have proposed and validated a complete model of information systems success in a public organization, which takes into account six measures of success of DeLone & McLean [7]. The results of this study have provided several important implications for HRIS research and practice in a public organization.

Even though the difficult procedure allowed us to confirm a model of Public human resources information system success, this empirical study has several limits that could be addressed in the future research, this research is limited in that we used teleological sampling from a single department for data collection. A random sample of a group of public administrations would have improved the generalization of the results. With regard to the invitation of officials to participate in the survey, we have tried to select as representative a sample as possible.

Additional research efforts are required to assess the legitimacy of the examined model. Longitudinal prove might upgrade our understanding of the causality and interrelationships between factors of public information systems success.

REFERENCES

- [1] S. C. Srivastava and T. S. H. Teo, "E-government, e-business, and national economic performance," *Commun. Assoc. Inf. Syst.*, 2010.
- [2] F. Khan, S. Khan, and B. Zhang, "E-government challenges in developing countries: A case study of Pakistan," 2010, doi: 10.1109/ICMeCG.2010.49.
- [3] R. Heeks and C. Stanforth, "Understanding e-Government project trajectories from an actor-network perspective," *Eur. J. Inf. Syst.*, 2007, doi: 10.1057/palgrave.ejis.3000676.
- [4] Z. Irani and P. E. D. Love, *Evaluating information systems: Public and private sector*. 2008.
- [5] M. Grimsley and A. Meehan, "e-Government information systems: Evaluation-led design for public value and client trust," *Eur. J. Inf. Syst.*, 2007, doi: 10.1057/palgrave.ejis.3000674.
- [6] E. Löffler, "A future research agenda for co-production : Overview paper Why co-production is an important topic for local government Level of User-Involvement in Europe," pp. 1–25, 2009.
[Online]. Available: <http://api.ning.com/files/mA7vDfjaKs9sNpXlrVUaYo4BG-l4H-yVPVw16-xY8-MAQnxX045b81DIUzFGD2TKoYHyGZrQhX0DbPjDepk7Y5JI3ZF0ieju/OverviewpaperLoefflertypocorrected1.pdf>.

- [7] W. H. DeLone and E. R. McLean, "The DeLone and McLean model of information systems success: A ten-year update," 2003, doi: 10.1080/07421222.2003.11045748.
- [8] W. H. DeLone and E. R. McLean, "The DeLone and McLean Model of Information Systems," *Manag. Inf. Syst.*, 1992.
- [9] C. E. Shannon and Warren Weaver, "The mathematical theory of communication," Univ. Illinois Press, 1949, doi: 10.1145/584091.584093.
- [10] R. O. Mason, "Measuring information output: A communication systems approach," *Inf. Manag.*, 1978, doi: 10.1016/0378-7206(78)90028-9.
- [11] A. Rai, S. S. Lang, and R. B. Welker, "Assessing the validity of IS success models: An empirical test and theoretical analysis," *Inf. Syst. Res.*, 2002, doi: 10.1287/isre.13.1.50.96.
- [12] W. H. DeLone and E. R. McLean, "Information systems success: The quest for the dependent variable," *Inf. Syst. Res.*, 1992, doi: 10.1287/isre.3.1.60.
- [13] V. Grover, S. R. Jeong, and A. H. Segars, "Information systems effectiveness: The construct space and patterns of application," *Inf. Manag.*, 1996, doi: 10.1016/S0378-7206(96)01079-8.
- [14] P. B. Seddon, S. Staples, and R. Patnayakuni, "DIMENSIONS OF INFORMATION SYSTEMS SUCCESS DIMENSIONS OF INFORMATION SYSTEMS SUCCESS," *Commun. AIS Vol.*, 1999, doi: 10.1016/j.compedu.2009.07.012.
- [15] P. B. Seddon, "A Respecification and Extension of the DeLone and McLean Model of IS Success," *Inf. Syst. Res.*, 1997, doi: 10.1287/isre.8.3.240.
- [16] S. Petter, W. DeLone, and E. McLean, "Measuring information systems success: Models, dimensions, measures, and interrelationships," *Eur. J. Inf. Syst.*, 2008, doi: 10.1057/ejis.2008.15.
- [17] N. Urbach and B. Müller, "The Updated DeLone and McLean Model of Information Systems Success," 2011.
- [18] Y. S. Wang and Y. W. Liao, "Assessing eGovernment systems success: A validation of the DeLone and McLean model of information systems success," *Gov. Inf. Q.*, 2008, doi: 10.1016/j.giq.2007.06.002.
- [19] V. McKinney, K. Yoon, and F. Zahedi, "The measurement of Web-customer satisfaction: An expectation and disconfirmation approach," *Inf. Syst. Res.*, 2002, doi: 10.1287/isre.13.3.296.76.
- [20] C. Schaupp and V. Tech, "Examining the success of websites beyond e-Commerce: an extension of the IS success model," *J. Comput. Inf. Syst.*, 2009.
- [21] L. F. Pitt, R. T. Watson, and C. B. Kavan, "Service Quality: A Measure of Information Systems Effectiveness," *MIS Q.*, 2006, doi: 10.2307/249687.
- [22] W. J. Doll, "The Measurement of End-User Computing Satisfaction," *MIS Q.*, 1988, doi: 10.2307/248851.
- [23] J. E. Bailey and S. W. Pearson, "Development of a Tool for Measuring and Analyzing Computer User Satisfaction," *Manage. Sci.*, 2008, doi: 10.1287/mnsc.29.5.530.
- [24] H. Al Shibly, "Human Resources Information System Success Assessment: An Integrative Model," *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, 2011.
- [25] H. H. Chang, Y. H. Wang, and W. Y. Yang, "The impact of e-service quality, customer satisfaction and loyalty on e-marketing: Moderating effect of perceived value," *Total Qual. Manag. Bus. Excell.*, 2009, doi: 10.1080/14783360902781923.
- [26] I. Balaban, E. Mu, and B. Divjak, "Development of an electronic Portfolio system success model: An information systems approach," *Comput. Educ.*, 2013, doi: 10.1016/j.compedu.2012.06.013.
- [27] P. Seddon and S.-K. Yip, "An Empirical Evaluation of User Information Satisfaction (UIS) Measures for Use with General Ledger Accounting Software," *J. Inf. Syst.*, 1992.
- [28] C. Tansley, S. Newell, and H. Williams, "Effecting HRM-style practices through an integrated human resource information system: An e-greenfield site?," *Pers. Rev.*, 2001, doi: 10.1108/00483480110385870.
- [29] W. W. Chin, "How to Write Up and Report PLS Analyses," in *Handbook of Partial Least Squares*, 2010.
- [30] J. J. Baroudi, M. H. Olson, and B. Ives, "An empirical study of the impact of user involvement on system usage and information satisfaction," *Commun. ACM*, 2002, doi: 10.1145/5666.5669.
- [31] J. Iivari, "An empirical test of the DeLone-McLean model of information system success," *ACM SIGMIS Database*, 2005, doi: 10.1145/1066149.1066152.

Caractérisation hydrologique du bassin versant de la Marahoué (Bandama, Côte d'Ivoire)

[Hydrological characterization of the Marahoué watershed (Bandama, Ivory Coast)]

Amani Michel Kouassi¹, Adjoa Victoire Sandrine Assoko², and Koffi Eugène Kouakou¹

¹Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi), Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Ecole Doctorale Polytechnique (EDP), B.P. 1093, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 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 carried out on the Marahoué (Bandama) watershed at the Bouaflé hydrometric station (Côte d'Ivoire) aims to characterize climate variability and its impact on the variations and availability of water resources in the watershed of the Marahoué (Bandama) in Ivory Coast. This characterization was based on the use of rainfall, thermometric and hydrometric (flow) data collected over the period 1961-2017. Thus, several methods were used (standard index of normalization, Lang method and Maillet's law). There is a decrease in precipitation and flow, however the temperature is rising. A low storage capacity of soil reservoirs in the Marahoué watershed (Bandama) has been demonstrated. Thus, low groundwater reserves were evaluated characterized by a low average drying off coefficient of $3,4 \cdot 10^{-2} \text{ j}^{-1}$, a short drying period of nearly a month and a low volume of water mobilized by the aquifers of $0,92 \text{ Km}^3$.

KEYWORDS: Ivory Coast, Hydroclimatic indices, Marahoué (Bandama), hydrological methods, Hydroclimatic variability.

RESUME: Cette étude menée sur le bassin versant de la Marahoué (Bandama) à la station hydrométrique de Bouaflé (Côte d'Ivoire) a pour objectif de caractériser la variabilité climatique et son impact sur les variations et la disponibilité des ressources en eau du bassin versant de la Marahoué (Bandama) en Côte d'Ivoire. Cette caractérisation s'est basée sur l'exploitation de données pluviométriques, thermométriques et hydrométriques (débits) collectées sur la période 1961-2017. Ainsi, plusieurs méthodes ont été utilisées (indice standard de normalisation, méthode de Lang et loi de Maillet). Il est constaté une baisse des précipitations et des débits cependant la température est en hausse. Il a été mis en évidence une faible capacité de stockage des réservoirs sols du bassin versant de la Marahoué (Bandama). Ainsi, de faibles réserves souterraines ont été évaluées caractérisées par un faible coefficient de tarissement moyen de $3,4 \cdot 10^{-2} \text{ j}^{-1}$, une courte durée de tarissement de près d'un mois et un faible volume d'eau mobilisé par les aquifères de $0,92 \text{ Km}^3$.

MOTS-CLEFS: Côte d'Ivoire, Indices hydroclimatiques, Marahoué (Bandama), Méthodes hydrologiques, Variabilité hydroclimatique.

1 INTRODUCTION

L'Afrique de l'Ouest est soumise à un contexte climatologique varié, fragilisé par les conséquences du réchauffement climatique. Les paramètres climatiques tels que la pluie, la température, l'humidité relative, le vent, l'évapotranspiration, etc. sont considérés comme étant les principaux facteurs déterminant et favorisant plus ou moins les fonctionnements hydrologiques et hydrogéologiques des bassins versants. En effet, la variation de la température constitue un atout ou une contrainte pour l'homme et ses activités [1]. En Afrique de l'Ouest en général et en Côte d'Ivoire en particulier, diverses études ont mis en évidence des évolutions des températures, des précipitations, des débits dans les cours d'eau et des réserves en eaux souterraines sur les périodes passées [2-11]. L'ampleur et la réalité de ces évolutions dépendent des régions et des conditions hydroclimatiques. Pour les débits, il n'est par ailleurs pas toujours facile

d'établir si l'origine des évolutions constatées est liée à des modifications climatiques ou à des évolutions de l'occupation des sols (imperméabilisation), des pratiques agricoles, etc. Aussi, un des défis de notre siècle serait la disponibilité en quantité et en qualité de l'eau pour la satisfaction des besoins de l'homme. Pour ce faire, une gestion rationnelle des ressources en eau passe par la connaissance des termes du bilan hydrologique.

L'étude de l'évolution climatique à l'échelle d'un territoire ou d'une région est une préoccupation croissante tant pour la communauté scientifique que pour les acteurs territoriaux. Elle vise à caractériser les variations climatiques récentes et futures afin de définir les conséquences de celles-ci sur les ressources en eau dans le but de mettre en place des stratégies d'adaptation sur des échelles spatiales opérationnelles comme le bassin versant. Ces stratégies cherchent à réduire la vulnérabilité d'un tel espace (bassin versant) face aux changements climatiques en général et aux phénomènes extrêmes en particulier (étiages, inondations). Ainsi, les décideurs peuvent être intéressés par les évolutions attendues à échéance de 30 ou 50 ans. Mais, avant de quantifier l'ampleur des évolutions futures, une étape préliminaire est déjà l'établissement d'un diagnostic sur les années passées, à partir des séries de données existantes, afin d'identifier si des tendances ou des modifications sont déjà détectables.

En Côte d'Ivoire à l'image de l'Afrique de l'Ouest, le secteur des ressources en eau est parmi les plus vulnérables à la variabilité du climat, ce qui rend l'évolution de la ressource en eau dans le contexte du changement climatique une question préoccupante. En effet, en Côte d'Ivoire, la ressource en eau est une valeur socio-économique certaine (alimentation en eau potable, agriculture, production d'électricité, industrie, etc.). Le bassin versant de la Marahoué est un sous-bassin du Bandama qui est le seul cours d'eau dont la source se trouve en Côte d'Ivoire. De ce fait, le Bandama constitue la principale source hydrique nourricière de la Côte d'Ivoire et comporte le plus grand nombre d'aménagements hydrauliques. D'où la nécessité d'analyser les variations et les tendances des paramètres hydroclimatiques dans le bassin versant de la Marahoué, affluent du Bandama.

Plusieurs travaux ont été réalisés sur le bassin versant du Bandama. Il ressort de ces travaux que des déficits pluviométriques ont été enregistrés en Côte d'Ivoire et ont engendré des déficits d'écoulement au niveau du bassin versant du Bandama qui s'élèvent à 65% [12]. Kouassi *et al* [10] ont également réalisé des travaux sur le bassin versant du Bandama à partir de données couvrant la période 1951-2015. Les principaux résultats de l'analyse climatique montrent que le bassin versant du Bandama connaît une variabilité pluviométrique marquée par une longue période sèche amorcée à partir des années 1970 et une reprise de la tendance pluviométrique humide caractérisée par la rupture des années 1999-2000. Les déficits pluviométriques de la rupture de 1970 varient entre 15% et 30% pour toutes les stations. La rupture de 1999-2000, présente des variations pluviométriques qui ne sont pas homogènes sur le bassin du Bandama. Des variations excédentaires sont enregistrées au Sud et au Centre à l'exception de la station de Bouaké, et fluctuent entre 5% et 14%. Les stations du Nord par contre présentent des déficits pluviométriques de plus en plus faibles qui évoluent entre 17% et 27%. Les résultats de la caractérisation hydrologique réalisés par Kouassi *et al* [13] ont permis d'identifier les manifestations de la variabilité hydrologique observée dans le bassin versant du Bandama. Les différents paramètres hydrologiques analysés varient au cours des années et décrivent une tendance régressive marquée par une rupture très significative en 1980-1981. Les déficits hydrologiques évalués fluctuent entre 15% (potentiel d'infiltration) et près de 60% (potentiel de ruissellement) en passant par 16% pour la pluie moyenne et 31% pour la pluie efficace. La baisse de la pluviométrie a, bien entendu, des conséquences sur la disponibilité des ressources en eau dans un bassin versant aussi vital.

L'objectif de cette étude est donc de caractériser la variabilité climatique récente et son impact sur les variations et la disponibilité des ressources en eau du bassin versant de la Marahoué, sous-bassin du bassin versant du Bandama.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le bassin versant de la Marahoué (Bandama rouge) est situé en Côte d'Ivoire entre les longitudes 5°5' et 7°1' Ouest et les latitudes 6°7' et 9°5' Nord (Fig. 1). Il a une superficie de 24300 km² (25% de la superficie totale du bassin versant du Bandama). La Marahoué est l'affluent rive droite le plus important du Bandama. Le cours d'eau principal, la Marahoué est encadré par deux affluents: le Béré à l'Est et le Yani ou Bahoroni à l'Ouest, il se jette dans le Bandama blanc à l'endroit où se trouve le village de Bozi, peu après la ville de Bouaflé.

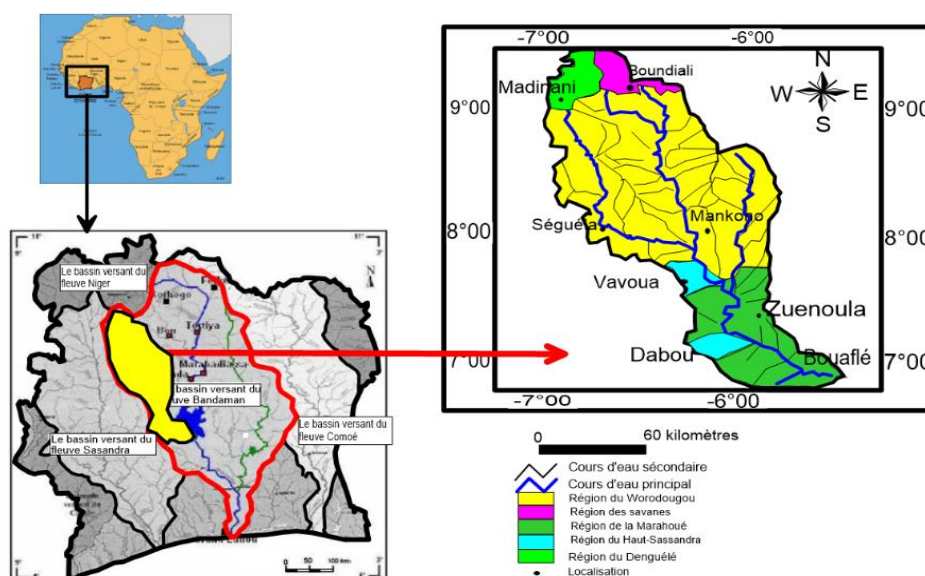


Fig. 1. Localisation géographique du bassin versant de la Marahoué (Bandama)

Les régimes climatiques observés sur le bassin de la Marahoué sont le régime tropical de transition (climat soudanais) dans la partie nord et le régime équatorial de transition atténué (climat baouléen) dans la partie sud. En effet, le climat soudanais (Boundiali) est caractérisé par des pluies annuelles généralement inférieures à 1200 mm. Il s'agit d'un régime unimodal à deux saisons. Une saison pluvieuse de sept (7) mois allant d'avril à octobre avec le pic en août et une saison sèche qui va de novembre à mars, soit cinq (5) mois. Le trimestre le plus pluvieux est le JAS (juillet-août-septembre). Le climat baouléen (Bouaflé) est marqué par des pluies annuelles comprises entre 1200 et 1600 mm. C'est un régime climatique bimodal à deux saisons. Le pic le plus important est celui de septembre suivi de celui de juin. Ce régime est défini par une saison pluvieuse de huit (8) mois allant de mars à octobre et une saison sèche de quatre (4) mois qui va de novembre à février.

Le bassin de la Marahoué se caractérise par une végétation savannicole dans le Centre et une végétation préforestière dans la partie sud. Le relief du bassin est caractérisé des plateaux accidentés dans le Nord-Ouest (400 m). Plus au Sud, on a un ensemble assez homogène de plateaux (3 à 400 m) (Mankono-Séguéla). La région septentrionale est caractérisée par des reliefs isolés. Le bassin de la Marahoué est dominé par des sols ferralitiques. La géologie de la Marahoué fait partie intégrante du domaine Baoulé-Mossi appelé également domaine protérozoïque de la dorsale de Man. Il est situé à l'Est de la faille de Sassandra. Schématiquement, il se présente comme un ensemble de gneiss formant le socle des formations supracrustales d'origine volcanique, subvolcanique, et sédimentaire mises en place ou déposées au sein de nombreux sillons ou bassins intracratoniques, dans lesquels se sont mis en place les granites du cycle éburnéen. Ces éléments (végétation, relief, types de sol, etc.) définissent les conditions physiques de l'écoulement.

Le régime hydrologique de la Marahoué (Bandama) à Bouaflé met en évidence une période des hautes eaux allant du mois d'août au mois de novembre (ASON) et une période de basses eaux qui va de janvier à avril (JFMA). La période de moyennes eaux se situe entre mai et juillet et prend en compte le mois de décembre.

2.2 DONNÉES

Les données climatiques (pluviométrie et température) ont été mises à notre disposition par la société de météorologie nationale (SODEXAM: Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique, Aéroportuaire et Météorologique). Le réseau pluviométrique sélectionné pour cette étude compte dix (10) postes (Béoumi, Bouaflé, Boundiali, Dianra, Kani, Madinani, Mankono, Séguéla, Vavoua et Zuenoula). Les données de pluviométrie mensuelle utilisées concernent la période 1961-2017. Les lacunes au sein des séries de données de pluie ont été comblées à partir des données de réanalyse. Les pluies moyennes annuelles au niveau des différentes stations retenues varient entre 1053 et 11405 mm avec une moyenne de 1196 mm.

Les données de température mensuelle ont été collectées aux stations synoptiques de Korhogo, Odienné, Daloa et Yamoussoukro sur la période 1961-2017. Les lacunes au sein des séries de données de température ont été également comblées à partir des données de réanalyse. Les valeurs moyennes annuelles calculées vont de 25 à 27 °C avec une moyenne de 26 °C et un écart-type de 0,39 °C.

Les données hydrométriques ont été fournies par la Direction Générale des Infrastructures de l'Hydraulique Humaine (DGIHH), Sous-Direction de l'Hydrologie et s'étendent sur la période 1961-2017. La station étudiée est celle de Bouaflé. Cette station hydrométrique

sélectionnée est représentative pour traduire de manière significative, le caractère climatique et physiographique du bassin versant de la Marahoué (Bandama). La méthode de la proportionnalité analogue a permis de simuler les données manquantes au sein de la série des débits mensuels utilisés à partir des données de la station hydrométrique de Béoumi-Séguela, située en amont de la station de Bouaflé. Les modules calculés après comblement des lacunes, oscillent entre 2,89 m³/s et 151,57 m³/s avec une moyenne de 65,13 m³/s et un écart-type de 33,42 m³/s.

2.3 MÉTHODES APPLIQUÉES

2.3.1 VARIATIONS ET TENDANCES DES PARAMÈTRES HYDROCLIMATIQUES

Les variations et les tendances temporelles des paramètres hydroclimatiques ont été analysées à partir de graphes simples et d'indices normalisés. L'indice standard de normalisation (SI_i) a l'avantage de mettre en évidence les périodes excédentaires et déficitaires d'une variable donnée. Il se définit comme une variable centrée réduite exprimée par l'équation 1:

$$SI_i = \frac{X_i - X_0}{\mu} \quad (1)$$

Avec :

- X_i : valeur de la variable de l'année i ;
- X_0 : valeur moyenne interannuelle de la variable sur la période étudiée;
- μ : valeur interannuelle de l'écart-type de la variable sur la période étudiée.

2.3.2 CARACTÉRISATION DES RÉSERVOIRS SOUTERRAINS

Lang [14] a mis en place une méthode (méthode de Lang) basée sur les corrélations entre cumuls de précipitations et débits en période d'étiage permettant d'analyser la capacité de stockage des réservoirs souterrains dans un bassin versant donné. En effet, un lien a été établi entre les débits de basses eaux et les cumuls de pluies des périodes de hautes eaux et basses eaux. En effet, ce sont les pluies de la saison humide qui engendrent les hautes eaux par accumulation des eaux de ruissellement et rechargent les nappes par infiltration et vont permettre de soutenir les débits durant les périodes sèches [14-17]. Les précipitations constituent le facteur climatique déterminant pour les débits extrêmes (crues et étiages). Les précipitations mensuelles enregistrées avant la période de basses eaux jouent donc un rôle déterminant pour évaluer l'état des réservoirs souterrains. Les séquences sans précipitations observées durant la saison sèche peuvent être considérées comme un facteur aggravant. Les précipitations mensuelles intéressantes permettent d'expliquer que les débits d'étiage sont celles qui se produisent durant la période de recharge des nappes. En intervenant dans le fonctionnement des bassins versants, les cumuls de précipitations permettent d'évaluer les volumes d'eau stockés durant une période. En effet, ce fonctionnement ne concerne que les bassins versants qui bénéficient d'aquifères conséquents [14]. Pour ceux développés dans des milieux imperméables ou pour ceux qui connaissent des abats pluviométriques trop abondants, aucune corrélation significative entre les pluies cumulées et les débits de basses eaux n'est établie [14]. Les débits de basses eaux sont influencés par les précipitations de ladite période pour les bassins versants pas très perméables [14]. Les bassins imperméables ou très arrosés sont très réactifs aux apports pluviométriques. Pour ces bassins, la sévérité des débits d'étiage s'explique davantage par les précipitations observées durant la période d'étiage elle-même. Cette analyse rappelle toute la complexité du phénomène de l'étiage et la difficulté à l'appréhender [14]. Elle s'avère intéressante dans un contexte opérationnel de prévision des débits d'étiage car elle montre dans quelle mesure, pour certains bassins, il est impossible de réaliser des prévisions à long terme, c'est-à-dire à échéance de plusieurs mois. Aussi, les débits de basses eaux dépendent des débits de la précédente période des hautes eaux. Ainsi, des corrélations ont été établies entre les débits moyens mensuels de la période des basses eaux et les cumuls des précipitations des périodes de hautes et basses eaux. Les cumuls des précipitations des périodes de hautes eaux et de basses eaux sont calculés de façon progressive du premier au dernier mois de ladite période. Les débits moyens de la période des basses eaux sont calculés de façon progressive du premier au dernier mois de ladite période.

L'évaluation de la réserve en eau souterraine a été réalisée à partir de la loi de Maillet. Le tarissement principal, par les volumes qu'il implique et sa représentativité de l'ensemble des aquifères du bassin, constitue une caractéristique importante du régime hydrologique tropical [5]. Le calcul du coefficient de tarissement est basé sur le modèle de Maillet qui a déjà été utilisé par d'autres auteurs [5, 18]. Dans cette approche, la courbe annuelle de tarissement est l'expression de la vidange du réservoir souterrain. Le modèle de Maillet admet qu'en régime non influencé c'est-à-dire en l'absence de toute précipitation, le tarissement correspond à la décroissance exponentielle du débit en fonction du temps. En effet, on définit le tarissement comme étant la décroissance du débit d'eau souterraine allant aux eaux de surface pendant les périodes sans alimentation, due à la diminution de la réserve d'eau souterraine et exprimée par la courbe de tarissement. En d'autres termes, c'est la période pendant laquelle la vidange des nappes souterraines constitue la seule contribution à l'écoulement des cours d'eau d'un bassin. Le coefficient de tarissement permet d'apprécier l'état des « entrées » d'eau

qui contribueraient à la modification apparente des relations pluie/débit observées sur les bassins fluviaux [18]. Il permet ainsi de comparer l'évolution de l'eau de surface et le stockage de l'aquifère afin de mieux cerner le comportement du réservoir de vidange. Le coefficient de tarissement (k) dépend des caractéristiques physiques et géométriques de l'aquifère. L'expression du modèle de Maillet est la suivante (équation 7):

$$Q_t = Q_0 e^{-kt} \quad (7)$$

Avec:

- Q_t (m^3/s): débit à l'instant t ;
- Q_0 (m^3/s): débit au début du tarissement;
- k : coefficient de tarissement de Maillet;
- t : temps en jour.

Le coefficient de tarissement de Maillet (k) a été obtenu par résolution de l'équation 8 qui s'exprime comme suit [5]:

$$\frac{e^{-kt}}{k} + \frac{V}{Q_0} - \frac{1}{k} = 0 \quad (8)$$

On peut formuler l'expression de la durée de tarissement (T) exprimée en jours par l'équation 9 [5, 18]:

$$T = \frac{1}{k} \quad (9)$$

Pour la représentation des courbes de tarissement, on part du débit moyen mensuel le plus élevé de l'année (Q_0) et on reporte en abscisse les débits mesurés tous les 30 jours (1 mois), jusqu'à ce qu'ils remontent de façon significative. Les courbes de tarissement vont correspondre aux périodes pendant lesquelles le débit décroît de façon plus ou moins régulière (régime non influencé), c'est-à-dire en absence de toute précipitation.

Le volume d'eau mobilisé par l'ensemble des aquifères du bassin versant est donné par l'équation 10 [5]:

$$V_{\text{mobilisé}} = \int_0^{+\infty} Q_0 e^{-kt} dt = \frac{86400 \times Q_0}{k} \quad (10)$$

Avec Q_0 exprimé en m^3/s et k en jours^{-1} .

Le modèle de Maillet a permis de déterminer sur le bassin versant de la Marahoué (Bandama) le coefficient de tarissement, la durée de tarissement et le volume d'eau mobilisé par les aquifères.

Les différents calculs et représentations graphiques, effectués au cours de cette étude, ont été réalisés sous le tableur Excel.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 VARIATIONS ET TENDANCES DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES

La pluviométrie moyenne annuelle sur le bassin versant de la Marahoué (Bandama) est comprise entre 703,3 (1983) et 1577,3 (1963) mm avec une moyenne de 1192 mm et un écart type de 176,6 mm. Une tendance à la baisse des précipitations a été mise en évidence (Fig. 2). Cependant, on peut définir trois périodes. D'abord une période humide entre 1961 et 1975. Ensuite, une période normale de 1976 à 1998, marquée par des épisodes sèches (1981-1986; 1990-1993). Enfin, une période sèche qui va de 1999 à 2017.

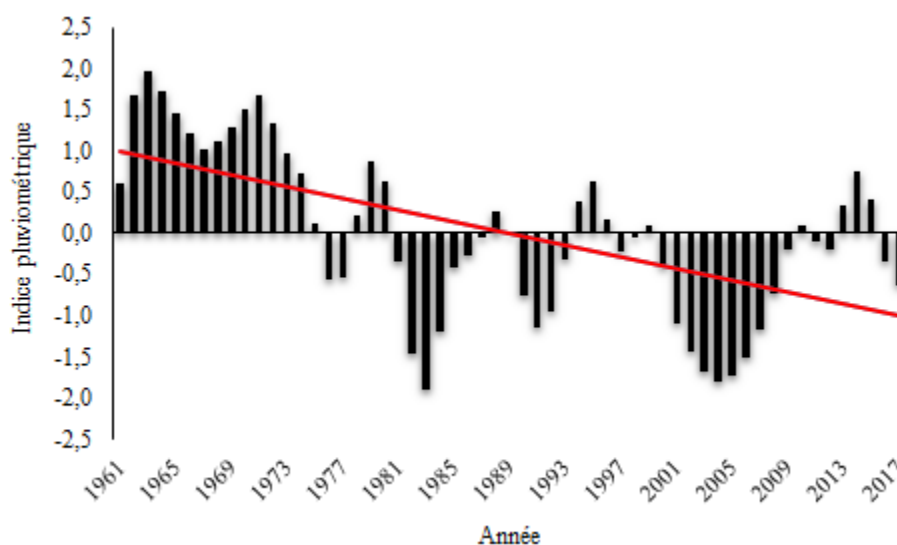


Fig. 2. Indices pluviométriques annuels du bassin versant de la Marahoué (Bandama) (1961-2017)

La température moyenne annuelle sur le bassin versant de la Marahoué (Bandama) est comprise entre 25,3 et 27,0°C avec une moyenne de 26,1°C et un écart type de 0,39°C. Il est observé une croissance graduelle de la température sur toute la période 1961-2017 (Fig. 3), ce qui indique une nette tendance au réchauffement. Il est constaté deux phases dans l'évolution de la température. Une première phase allant de 1961 à 1996 au cours de laquelle les indices thermiques annuels sont négatifs et une seconde phase (1997-2017) marquée par des indices thermiques positifs.

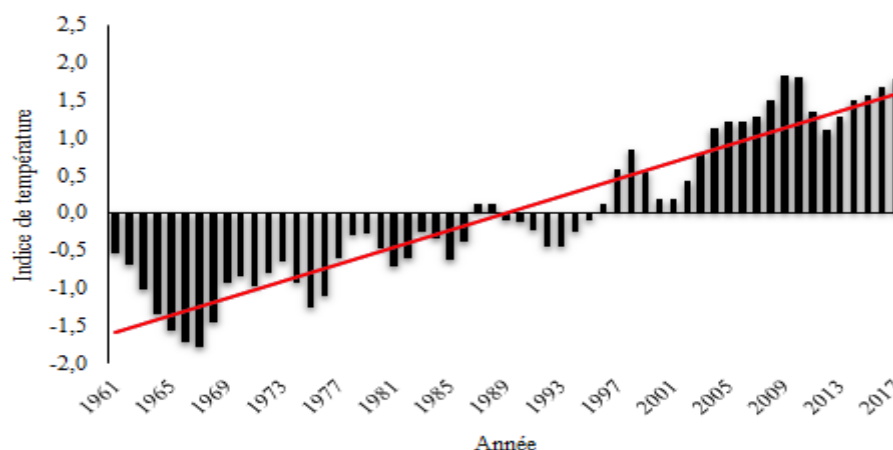


Fig. 3. Indices thermiques annuels du bassin versant de la Marahoué (Bandama) (1961-2017)

3.2 VARIATIONS ET TENDANCES INTERANNUELLES DU DÉBIT

Les indices de débit calculés sont illustrés par la figure 4. Le graphe met en évidence une tendance générale à la baisse des débits d'écoulement de la Marahoué (Bandama). Cependant, on peut identifier une période humide (1961-1971), une période sèche (1972-2007) et une période normale à tendance humide (2008-2017). La période 1961-2017 est caractérisée par une prédominance d'années déficitaires. Toutefois la nouvelle période humide présente dans son ensemble des valeurs inférieures à celle de la période 1961-1970.

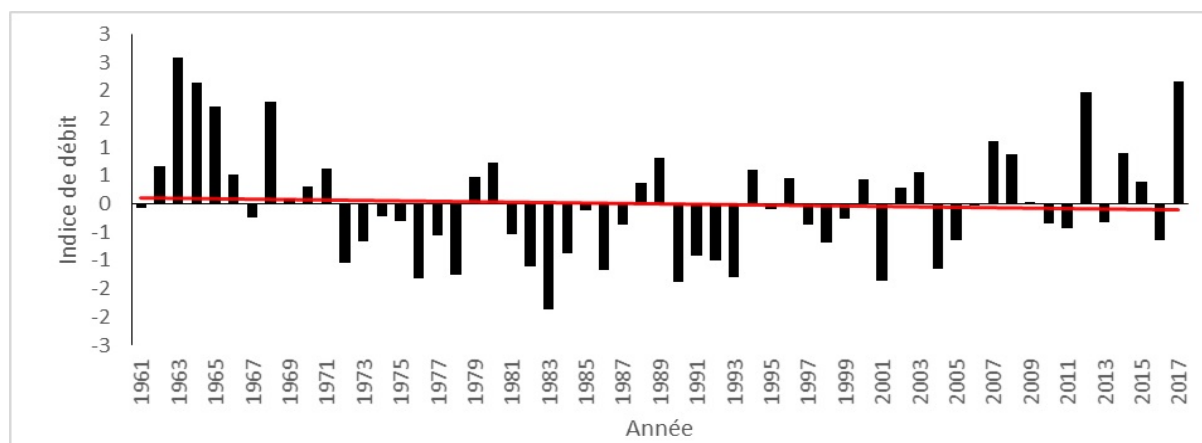


Fig. 4. Variation des indices de débits sur la Marahoué (Bandama) de 1961 à 2017

3.3 ANALYSE DES RÉSERVOIRS SOUTERRAINS

3.3.1 ANALYSE DE LA FONCTION CAPACITIVE DES RÉSERVOIRS SOUTERRAINS

Les coefficients de corrélation enregistrés entre les cumuls pluviométriques mensuels des périodes des hautes eaux et les débits moyens des périodes de basses eaux à la station de Bouaflé ont mis en évidence un taux de 40% de coefficients de corrélation supérieur au seuil de coefficient de corrélation significatif (0,5) (Tableau 1). Les cumuls pluviométriques ne sont donc pas bien corrélés aux débits moyens de la période des basses eaux. Mais, le cumul pluviométrique de toute la période des hautes eaux (P-août-novembre) est relativement plus corrélé (0,50-0,52) aux débits moyens de basses eaux que les autres cumuls pluviométriques (0,32-0,47).

Tableau 1. Corrélation entre cumuls de pluie des périodes des hautes eaux et débits moyens de basses eaux à la station de Bouaflé (1961-2017)

	P-août	P-août-septembre	P-août-octobre	P-août-Novembre
Q-janvier-mars	0,32	0,39	0,46	0,51
Q-février-avril	0,34	0,40	0,44	0,50
Q-janvier-avril	0,33	0,41	0,47	0,52
Q-février-mars	0,35	0,41	0,46	0,51

Les coefficients de corrélation entre les cumuls pluviométriques mensuels de la période des basses eaux et les débits moyens de ladite période à la station de Bouaflé mettent en évidence un taux de 0% de coefficients de corrélation supérieur au seuil de coefficient de corrélation significatif (0,5) (Tableau 2).

Tableau 2. Corrélation entre cumuls de pluie et débits moyens de la période de basses eaux à la station de Bouaflé (1961-2017)

	P-janvier-mars	P-février-avril	P-janvier-avril	P-février-mars
Q-janvier-mars	0,28	0,09	0,23	0,11
Q-février-avril	0,43	0,32	0,40	0,29
Q-janvier-avril	0,34	0,20	0,33	0,19
Q-février-mars	0,41	0,21	0,36	0,24

3.3.2 ANALYSE DE LA RÉSERVE SOUTERRAINE DU BASSIN VERSANT DE LA MARAHOUÉ

Le coefficient de tarissement moyen proportionnel à la vitesse de vidange de l'aquifère dans le bassin versant de la Marahoué (Bandama) déterminé sur la période 1961-2017 est de $3,4 \cdot 10^{-2} \text{ j}^{-1}$ (Fig. 5). La durée moyenne de tarissement en absence de précipitations évaluée est de 29,4 jours soit près d'un mois. Le volume d'eau mobilisé par les aquifères évalué sur la période 1961-2017 est de $0,92 \text{ Km}^3$ correspond à une valeur de $0,74 \text{ km}^3$.

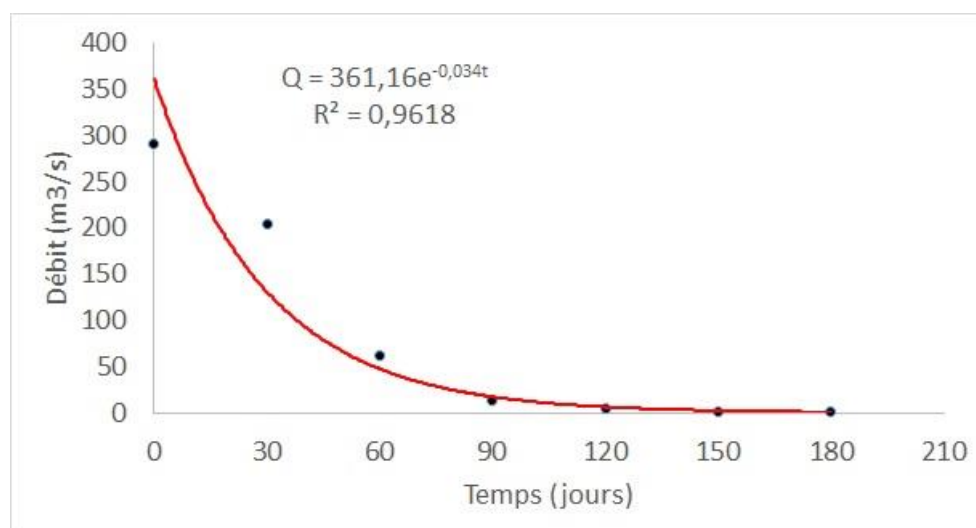


Fig. 5. Courbe de tarissement de la Marahoué (Bandama) de 1961 à 2017

3.4 DISCUSSION

Une analyse des séries de paramètres climatiques moyens du bassin versant de La Marahoué (Bandama) (précipitation et température) au pas de temps annuel sur la période 1961-2017 a été effectuée. Il ressort que la variabilité climatique se manifeste au niveau du bassin versant de la Marahoué (Bandama) par la baisse des hauteurs de précipitation et la hausse de la température. Il est cependant constaté une tendance à la reprise des précipitations traduite par des indices pluviométriques positifs au cours de la décennie 2010. Les résultats obtenus confirment le fait que la décennie 1990 a été déclarée la décennie la plus chaude du 20^{ème} siècle. Depuis cette décennie, la croissance de la température a pris une allure plus accentuée. On peut donc dire que le bassin versant de la Marahoué (Bandama) connaît un problème de réchauffement climatique. Les corrélations fortes mises en évidence entre la température et le temps, suggère une croissance future de ce paramètre climatique. Les résultats obtenus confirment ceux obtenus par plusieurs auteurs [6, 9, 10, 11]. Les travaux de Kouassi *et al* [10], réalisés sur l'ensemble du bassin versant du Bandama, sur la période 1951-2015, ont montré que le bassin versant du Bandama connaît une variabilité pluviométrique marquée par une longue période sèche amorcée à partir des années 1970 et une reprise de la tendance pluviométrique humide caractérisée par la rupture des années 1999-2000. Les déficits pluviométriques de la rupture de 1970 varient entre 15% et 30% pour toutes les stations. La rupture de 1999-2000, présente des variations pluviométriques qui ne sont pas homogènes sur le bassin du Bandama. Des variations excédentaires sont enregistrées au Sud et au Centre à l'exception de la station de Bouaké, et fluctuent entre 5% et 14%. Les stations du Nord par contre présentent des déficits pluviométriques de plus en plus faibles qui évoluent entre 17% et 27%.

La baisse de la pluviométrie et le réchauffement climatique constatés influencent-ils les débits de la Marahoué (Bandama) ?

Une analyse des débits de la Marahoué (Bandama) au pas de temps annuel (modules) sur la période 1961-2017 a permis de mettre en évidence une baisse des débits conformément aux précipitations. Il est également constaté une tendance à la hausse des débits au cours de la décennie 2010 traduite par des indices standardisés de débits positifs. La variabilité climatique constatée influence donc les débits d'écoulement des cours d'eau. Kouassi *et al* [13] ont mené des travaux visant à analyser les modifications induites par la variabilité pluviométrique sur le comportement hydrologique du bassin versant du Bandama en Côte d'Ivoire à partir des variables telles que la pluie efficace, le potentiel de ruissellement et le potentiel d'infiltration calculés sur la période 1951-2015. L'application de l'indice standard de normalisation et de deux tests de rupture (test de Pettitt et méthode de segmentation de Hubert) à ces variables a permis de montrer que les différents paramètres hydrologiques analysés varient au cours des années et décrivent une tendance régressive marquée par une rupture très significative en 1980-1981. Les déficits hydrologiques évalués fluctuent entre 15% (potentiel d'infiltration) et près de 60% (potentiel de ruissellement) en passant par 16% pour la pluie moyenne et 31% pour la pluie efficace.

Quelle est la capacité des réservoirs souterrains supposés soutenir les écoulements de surface dans un contexte de baisse de la pluviométrie et des débits ainsi que de la hausse des températures dans le bassin versant de la Marahoué (Bandama) ?

Les faibles corrélations obtenues entre d'une part les cumuls de précipitations mensuelles de la période des hautes eaux et les débits de basses eaux et d'autre part, entre les cumuls de précipitations mensuelles de la période des basses eaux et les débits de basses eaux témoignent de la faible capacité de stockage des réservoirs sols du bassin versant de la Marahoué (Bandama). Ces résultats s'inscrivent dans la même logique que ceux obtenus par Lang (2007). Le pas de temps utilisé dans cette étude est de 30 jours contrairement aux

études antérieures où le pas était de 10 jours [3, 5, 7, 19, 21]. Goula *et al* [3] ont obtenu des valeurs de coefficient de tarissement allant de 3.10^{-2} à $4.10^{-2} j^{-1}$ dans le bassin versant du Sassandra à la station de Kahin, Savané *et al* [19]. ont abouti à des valeurs de $5,7.10^{-2} j^{-1}$ dans le bassin versant du Cavally à la station de Flampeu et $3,6.10^{-2} j^{-1}$ dans le bassin versant du Sassandra à la station de Man. Les résultats des travaux de Kouassi *et al* [13]. sur le bassin versant du N'zi (Bandama) aux stations hydrométriques de M'bahiakro, Bocanda, Dimbokro et N'zianoua, ont donné des valeurs moyennes de coefficient de tarissement variant entre 3.10^{-2} (M'bahiakro) et $4.10^{-2} j^{-1}$ (N'zianoua). Les valeurs du coefficient de tarissement obtenues par Soro *et al*. [7, 8] sur le bassin versant du Bandama à Tortya se situent entre $1,63.10^{-2} j^{-1}$ et $8,16.10^{-2} j^{-1}$ avec une moyenne de $3,84.10^{-2} j^{-1}$. Les valeurs moyennes du coefficient de tarissement de la Marahoué à Zuénoula (1982-2004) et à Bouaflé (1955-2004) sont respectivement de $2,31.10^{-2} j^{-1}$ et $2,28.10^{-2} j^{-1}$ [21]. Le coefficient moyen annuel de tarissement du fleuve Bagoé a été estimé à $0,032 j^{-1}$ par Adja *et al* [22]. Les résultats obtenus au cours de cette étude ($3,4.10^{-2} j^{-1}$) s'inscrivent bien dans les intervalles des valeurs obtenues sur les principaux bassins versants de la Côte d'Ivoire. La durée moyenne de tarissement obtenue par Kouassi *et al* [5]. sur le bassin versant du N'zi (Bandama) oscille entre 25 et 33 jours. La valeur obtenue sur le bassin versant de la Marahoué (29 jours) s'intercale bien dans cet intervalle. Les résultats du bassin versant du N'zi viennent conforter ceux obtenus dans le bassin versant de la Marahoué dès lors que les deux bassins constituent des sous-bassins du grand bassin versant du Bandama. Les volumes d'eau mobilisés par les aquifères du N'zi (Bandama) évalués par Kouassi *et al* [5]. varient entre 0,61 et 0,64 Km^3 . Après 1968, les volumes mobilisés par les aquifères fluctuent entre 0,36 et 0,49 Km^3 . Ces volumes sont fonction de la superficie des bassins. Ainsi, les volumes d'eau mobilisés par Km^2 au niveau du N'zi (Bandama) vont de $1,8.10^{-5}$ à $4.10^{-5} Km^3$. Les valeurs moyennes du volume d'eau mobilisé par les aquifères du bassin versant de la Marahoué à Zuénoula (1982-2004) et à Bouaflé (1955-2004), sont respectivement de $1,33 km^3$ ($2,12.10^{-5} km^3/km^2$) et $1,90 km^3$ ($7,8.10^{-5} km^3/km^2$) [22]. Quant aux volumes mobilisés, les valeurs vont de $0,08 km^3$ à $2,71 km^3$ ($1,9.10^{-4} km^3/km^2$) [7, 8]. Le volume moyen interannuel d'eau mobilisé par les aquifères du bassin versant de la Bagoé a été évalué à environ $0,71 km^3$ ($2,12.10^{-5} km^3/km^2$) à la station hydrométrique de Kouto (exutoire) selon les travaux de Adja *et al* [22]. Quant au bassin versant de la Marahoué (Bandama), le volume d'eau mobilisé par Km^2 au cours de cette étude est de $3,8.10^{-5} Km^3$. Cette valeur s'inscrit normalement dans l'intervalle obtenu par Kouassi *et al* [5]. sur le bassin versant du N'zi (Bandama). Il y a donc de façon générale une concordance des résultats obtenus sur le bassin versant de la Marahoué (Bandama) par rapport aux résultats des travaux antérieurs sur les principaux bassins versants fluviaux de la Côte d'Ivoire en ce qui concerne le coefficient de tarissement, la durée de tarissement et le volume d'eau mobilisé par les aquifères. Ainsi, le fort coefficient de tarissement, la rapidité du tarissement et les faibles volumes d'eau mobilisés, amènent à dire que les nappes qui alimentent le fleuve Marahoué (Bandama) sont dans des aquifères de faible capacité. D'où la faiblesse des quantités d'eau déversées dans les cours d'eau par les nappes souterraines. En effet, le bassin est couvert de formations géologiques très consolidées. De ce fait, la présence d'eau souterraine est conditionnée par l'existence de fractures d'où la présence d'aquifères discontinus qui contiennent de l'eau dans de faibles proportions (Kouassi *et al.*, 2013). On peut donc conclure que le pas de temps utilisé n'a pas influencé de façon significative les résultats de cette étude.

Les résultats issus de la loi de Maillet sont en adéquation avec ceux obtenus par l'application de la méthode de Lang [14] au cours de cette étude. Cette méthode, relativement simple, basée uniquement sur des corrélations de cumuls de pluie (périodes de hautes eaux et de basses eaux) et de débits moyens (période de basses eaux), a permis de confirmer les résultats de l'application de la loi de Maillet, communément utilisée par les hydrologues. Cependant, cette approche est limitée par le fait qu'elle donne qu'une appréciation qualitative contrairement à la loi de Maillet qui permet de quantifier les paramètres de caractérisation des réservoirs souterrains. Elle peut dès lors constituer un outil de premier niveau d'appréciation des capacités des réservoirs souterrains.

La baisse des précipitations et des débits combinée à la hausse de la température, constatées dans le bassin versant de la Marahoué (Bandama), sont de nature à amplifier l'amenuisement des réserves souterraines déjà faibles [5].

4 CONCLUSION

L'objectif de cette étude était la caractérisation climatique et hydrologique du bassin versant de la Marahoué (Bandama) à la station hydrométrique de Bouaflé (Côte d'Ivoire). Les résultats obtenus suite à la combinaison d'approches climatiques, statistiques et hydrologiques, ont permis de mettre en évidence une baisse des précipitations et des débits cependant la température connaît une hausse monotone. Les réserves souterraines évaluées sont faibles avec un coefficient de tarissement moyen de $3,4.10^{-2} j^{-1}$, une durée moyenne de tarissement de près d'un mois et un volume d'eau mobilisé par les aquifères de $0,92 Km^3$ $0,74 km^3$. La variabilité climatique constatée ainsi que les variations hydrologiques évaluées sont de nature à amplifier l'amenuisement des réserves souterraines déjà faibles. Dans un tel contexte, il est nécessaire d'analyser les comportements hydrométriques extrêmes afin de définir des seuils d'extrêmes hydrométriques pouvant servir d'alertes précoces auprès des populations pour une anticipation sur les phénomènes extrêmes tels que les inondations, les étiages, etc.

REMERCIEMENTS

Les auteurs de cet article remercient d'abord les instructeurs dont les critiques et les suggestions ont permis d'améliorer le présent article. Ils remercient ensuite la Direction Générale des Infrastructures de l'Hydraulique Humaine (DGIHH), Sous-Direction de l'Hydrologie pour leur avoir fourni les données de débits utilisées. Enfin, des remerciements sont portés auprès de la SODEXAM pour leur avoir fourni les données de pluie et de température utilisées dans cette étude.

REFERENCES

- [1] Oussou S.C., Boko N.P.M., Ogouwalé E., « Mise en évidence de la significativité des tendances thermométriques au Bénin. », *Annales de la faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Université d'Abomey-Calavi, Bénin*, vol. 11, n°17, pp.197-207, 2011.
- [2] Kouassi A.M., Kouamé K.F., Koffi Y.B., Djé K.B., Paturel J.E., Sekouba O., « Analyse de la variabilité climatique et de ses influences sur les régimes pluviométriques saisonniers en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'Zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. », *Cybergeog: European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, mis en ligne le 07 décembre 2010. URL: <http://cybergeog.revues.org/index23388.html> 2010.
- [3] Goula B.T.B., Soro G.E., Kouassi W., Srohourou B., « Tendances et ruptures au niveau des pluies journalières extrêmes en Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). », *Hydrological Sciences Journal*, vol.57, n°6, pp.1067-1080, 2012.
- [4] Kouakou K.E., Goula B.T.A., Kouassi A.M., « Analyze of climate variability and change impacts on hydroclimate parameters: case study of Ivory Coast », *International Journal of Scientific & Engineering Research*, n°3, pp.1-8, 2012.
- [5] Kouassi A.M., Kouamé K.F., Saley M.B., Biemi J., « Impacts des changements climatiques sur les eaux souterraines des aquifères de socle cristallin et cristallophyllien en Afrique de l'Ouest: cas du bassin versant du N'zi-Bandama (Côte d'Ivoire). », *Larhyss Journal*, vol. n°16, pp.121-138, 2013.
- [6] Soro T.D., Soro N., Oga Y.M.S., Lasm T., Soro G., Ahoussi K.E., Biemi J., « La variabilité climatique et son impact sur les ressources en eau dans le degré carré de Grand-Lahou (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). », *Physio-Géo*, n°5, pp.55-73, 2013a.
- [7] Soro T.D., Djé K.B., Ahoussi K.E., Soro G., Kouassi A.M., Kouadio K.E., Oga Y.M.S., Soro N., « Climate variability impact on groundwater resources in the Highest Bandama watershed at Tortiya (Northern Côte d'Ivoire). », *American Journal of Environmental Protection*, vol.2, n°4, pp.103-112, 2013b.
- [8] Soro T.D., Djé K.B., Ahoussi K.E., Soro G., Kouassi A.M., Kouadio K.E., Oga Y.M.S., Soro N., « Hydroclimatologie et dynamique de l'occupation du sol du bassin versant du Haut Bandama à Tortiya (Nord de la Côte d'Ivoire). », *VertigO, la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol.13, n°3, pp.1-22, 2013c.
- [9] Fossou R.M.N., Lasm T., Soro N., Soro T., Soro G., De lasme O.Z., Baka D., Onetié O.Z., Orou R., « Variabilité climatique et son impact sur les ressources en eaux souterraines: cas des stations de Bocanda et de Dimbokro au Centre-Est de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). », *Larhyss Journal*, n°21, pp.87-110, 2014.
- [10] Kouassi A.M., Assoko A.V.S., Djé K.B., Kouakou K.E., Kouamé K.F., Biemi J., « Analysis of the persistence of drought in West Africa: Characterization of the recent climate variability in Ivory Coast. », *Environmental and Water Sciences, Public Heath & Territorial Intelligence*, vol.1, n°2, pp.47-59, 2017a.
- [11] Soro G., Ahoussi K.E., Traoré A., Soro N., « Impacts de la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie dans le «V» Baoulé (centre de la Côte d'Ivoire) au cours de la période 1966-2000 sur les ressources en eau. », *Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement*, vol.2, n°3, pp.7-10, 2017.
- [12] Doumouya I., Kamagaté B., Bamba A., Ouédraogo M., Ouattara I., Savané I., Goula B.T.A. et Biémi J., « Impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau et végétation du bassin versant du Bandama en milieu intertropical (Côte d'Ivoire) ». *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, n°14, pp.203-215, 2009.
- [13] Kouassi A.M., Assoko A.V.S., Kouakou K.E., Djé K.B., Kouamé K.F., Biemi J., « Analysis of the hydrological impacts of climate variability in West Africa: case study of the Bandama watershed in Ivory Coast. », *Larhyss Journal*, n°31, pp.19-40, 2017b.
- [14] Lang C., « L'approche conceptuelle et l'analyse statistique en réponse à la diversité spatiale des écoulements en étiage des cours d'eau de l'Est français », Thèse de doctorat de l'Université de Paul Verlaine, Metz, 375p, 2007.
- [15] Lang C., « Les étiages: Définitions hydrologique, statistique et seuils réglementaires. », *Cybergeog: European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, mis en ligne le 30 Novembre 2011. URL: <http://journals.openedition.org/cybeo/24827>.
- [16] Bard A., Renard B., Lang M., « Tendances observées sur les régimes hydrologiques de l'arc Alpin », *La Houille Blanche, Revue internationale de l'eau*, n°1, pp.38 – 43, 2012.
- [17] Garcia F., « Amélioration d'une modélisation hydrologique régionalisée pour estimer les statistiques d'étiages », Thèse de Doctorat en Hydrologie à l'université Pierre Marie Curie, Paris VI, 272 p., 2016.
- [18] Amoussou E., « Variabilité pluviométrique et dynamique hydrosédimentaire du bassin-versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest) », Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, Centre de Recherche de Climatologie, 310p, 2010.

- [19] Savané I., Coulibaly K.M., Gioan P., « Variabilité climatique et ressources en eaux souterraines dans la région semi-montagneuse de Man. », *Sécheresse*, vol.4, n°12, pp.231-237, 2001.
- [20] Goula B.T.A., Savané I., Konan B., Fadika V., Kouadio G.B., « Etude comparative de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau des bassins du N'zo et du N'zi en Côte d'Ivoire », *Vertigo*, vol.7, n°1, pp.1-12, 2006.
- [21] N'gnessan B.V.H., Saley M.B., Oga Y.M.S., Yapi A.F., Kouadio B.H., Biemi J., Kouadio A., « Caractérisation De La Sécheresse Hydrologique Dans La Région De La Marahoué (Centre-Ouest De La Côte d'Ivoire) », *International Journal of Engineering Science Invention*, vol.6, n°12, pp.19-27, 2017.
- [22] Adja M.G., Djemin E.J., N'dri O.F.A., Tohouiri P., Kouamé K.J., Jourda J.P., « Apport de l'Analyse Hydrologique et de la Modélisation de la Relation Pluie-Débit dans le Suivi Quantitatif des Ressources en Eau dans un Contexte de Variabilité Climatique: Cas du Sous-Bassin Versant du Kouto (Nord de la Côte d'Ivoire) », *European Journal of Scientific Research*, vol. 154, n°2, pp.192-212, 2019.

Apport des indices climatiques à la redéfinition de la régionalisation climatique de la Côte d'Ivoire dans un contexte de climat changeant

[Contribution of climatic indices to the redefinition of the climatic regionalization of the Ivory Coast in a changing climate context]

Jean-Muller Kouao¹, Amani Michel Kouassi², Aimé Koudou³, and Amlhan Claudia Félicité Gbola⁴

¹Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Ecole Doctorale Polytechnique (EDP), B.P. 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi), Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

³Université Jean Lorougnou Guédé (UJLoG) de Daloa, Unité de Formation et de Recherche (UFR) Environnement, Département des Sciences de la Terre, Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement (LSTE), BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

⁴Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Ecole Supérieure des Mines et de Géologie (ESMG), B.P. 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 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 aim of this study is to analyze the dynamics of seasonal climatic regimes in a context of changing climate with a view to redefining homogeneous climatic zoning in Ivory Coast. The methodology is based on the combination of climatic indices designed from rainfall and temperature (Gausson index and De Martonne index). The results obtained made it possible to identify six (6) homogeneous climatic zones in Ivory Coast. A diachronic analysis from two thirty-year periods (1941-1970 and 1971-2000) showed that the climate changes observed in West Africa in general and in Ivory Coast in particular, had the consequences of modifying the seasonal climatic regimes conditions in general throughout the territory. However, the Ivorian coast was less affected by the phenomenon. The results obtained can serve as a basis for forecasting drought in Ivory Coast.

KEYWORDS: Environment, Climate change, climate regimes, climate indices, Ivory Coast.

RESUME: L'objectif de cette étude est d'analyser la dynamique des régimes climatiques saisonniers dans un contexte de climat changeant en vue de la redéfinition des zonages climatiques homogènes en Côte d'Ivoire. La méthodologie est basée sur la combinaison d'indices climatiques conçus à partir de la pluie et de la température (indice de Gausson et indice de De Martonne). Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence six (6) zones climatiques homogènes en Côte d'Ivoire. Une analyse diachronique à partir de deux périodes trentenaires (1941-1970 et 1971-2000) a montré que les changements climatiques constatés en Afrique de l'Ouest en général et en Côte d'Ivoire en particulier, ont eu pour conséquences de modifier les régimes climatiques saisonniers de façon générale sur toute l'étendue du territoire. Cependant, le littoral ivoirien a été moins affecté par le phénomène. Les résultats obtenus peuvent servir de base pour la prévision de la sécheresse en Côte d'Ivoire.

MOTS-CLEFS: Environnement, Changements climatiques, régimes climatiques, indices climatiques, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Plusieurs méthodes de régionalisation existent et elles sont généralement basées sur l'Analyse en Composantes Principales (ACP), les corrélations et/ou des méthodes de classification telles que la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) [1]. Ces méthodes sont utilisées en climatologie pour la régionalisation des paramètres climatiques en général et des précipitations en particulier [1-9]. Ces différentes approches appliquées sur les mêmes variables ne parviennent pas toujours aux mêmes résultats. C'est ainsi que Kouao *et al.* [9] sont parvenus à des cas de confusion dans l'identification des zones climatiques homogènes à partir de l'application de l'ACP et la CHA. En effet, des divergences ont été constatées d'une part entre le climat soudanais et le climat baouléen et d'autre part, dans la subdivision du climat attiéen. Aussi, ces approches ne donnent pas les caractéristiques des régimes climatiques saisonniers. D'où la nécessité de compléter les approches multivariées par des indices climatiques dans une procédure de régionalisation climatique. En effet, la classification des climats se base aussi sur des indices dits climatiques et biogéographiques. De ce fait, plusieurs indices bioclimatiques et d'aridité ont été proposés en se basant généralement sur la combinaison des précipitations, des températures (moyenne, maximum et minimum) et du pouvoir évapotranspirant de l'atmosphère (ETP) [10]. Les plus connus sont ceux de De Martonne (1926), Emberger (1931), Thornthwaite (1948), Dubief (1950), Capot-Rey (1951), Bagnouls et Gaussen (1952) et Birot (1953) [10]. Ces indices ont été développés en vue de délimiter spatialement les zones bioclimatiques [10]. L'identification et la délimitation des zones bioclimatiques à caractère homogène constituent une étape préliminaire nécessaire pour les études de vocation et de gestion des terres, de valorisation de l'utilisation du territoire, d'adaptation aux phénomènes de sécheresse et d'agressivité des agents météorologiques [10], de gestion des ressources en eau, etc. La régionalisation climatique peut aussi servir de base à la prévision climatique et hydrologique. Aussi, la régionalisation s'est-elle développée afin d'étudier, décrire et communiquer les informations spatiales. Les régions homogènes des phénomènes pluviométriques sont conçues pour servir de forum en vue d'encourager le développement d'une approche harmonisée et globale des problématiques climatiques, ainsi qu'en vue d'une application judicieuse de cette approche à la gestion et à la planification des ressources en eau. Il s'agit, avant tout, d'un outil d'aide à la décision et à l'usage de questionnaires [1, 11].

La question principale que suscite cette étude est: Les changements climatiques ont-ils impactés le zonage climatique en Côte d'Ivoire à travers la modification des régimes climatiques saisonniers ?

Plusieurs questions sous-jacentes peuvent être soulevées:

- i) Quelles sont les caractéristiques des régimes climatiques saisonniers de la Côte d'Ivoire ?
- ii) Quels sont les impacts des changements climatiques sur les régimes climatiques saisonniers en Côte d'Ivoire ?

L'objectif de cette étude est d'analyser la dynamique des régimes climatiques saisonniers dans un contexte de climat changeant en vue de la redéfinition des zonages climatiques en Côte d'Ivoire.

Après la présentation de la zone d'étude et de la méthodologie mise en œuvre pour répondre à la problématique posée et à l'atteinte des objectifs fixés, les résultats de l'étude sont analysés puis discutés. Une conclusion présente les principaux résultats et la portée de l'étude.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La Côte d'Ivoire est située en Afrique de l'Ouest, dans la zone intertropicale, entre l'équateur et le tropique du cancer, précisément entre les latitudes 4°30' et 10°30' Nord et les longitudes 8°30' et 2°30' Ouest (Fig. 1). Elle couvre une superficie de 322 462 Km² (environ 1% du continent africain) et fait frontière avec le Golfe de Guinée au Sud, le Ghana à l'Est, le Libéria et la Guinée à l'Ouest, le Mali et le Burkina-Faso au Nord.

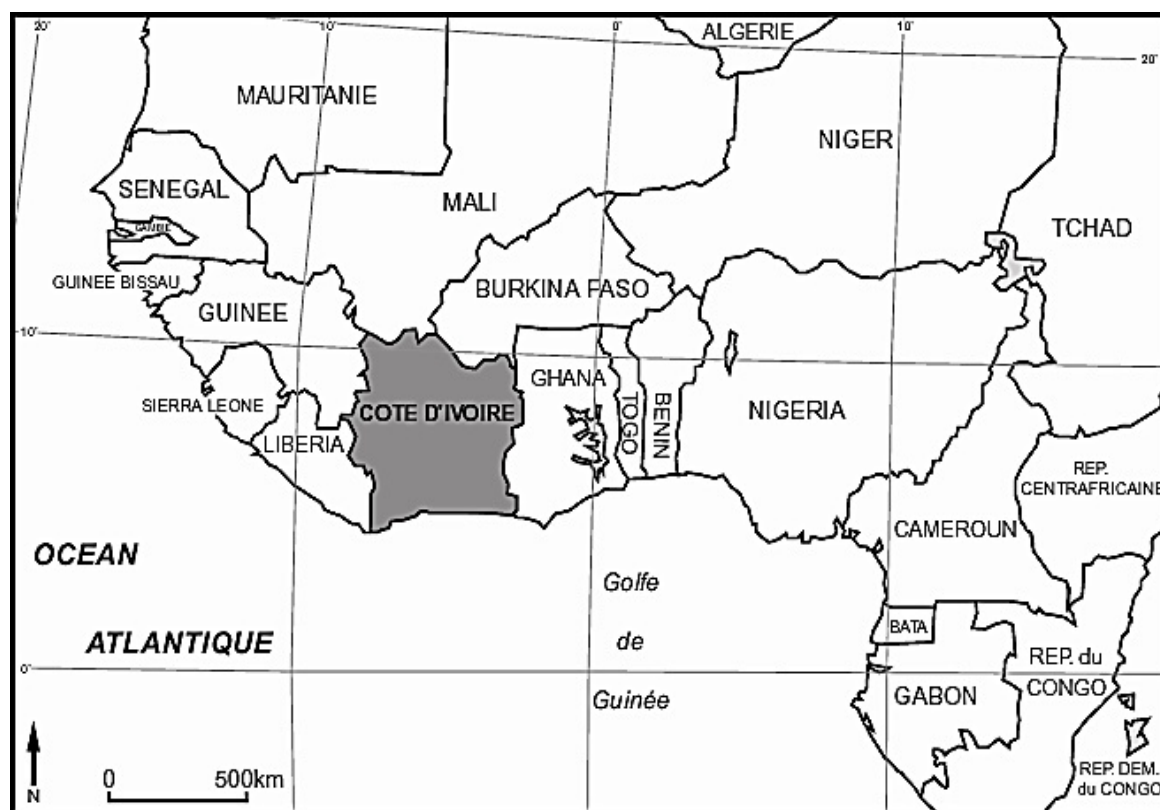


Fig. 1. Localisation de la Côte d'Ivoire en Afrique de l'Ouest [12]

Deux grands types de paysages végétaux sont présents sur le territoire ivoirien : un paysage forestier et un paysage de savane. Le premier couvre la moitié sud du pays et appartient au domaine guinéen. Le second occupe la moitié nord de la Côte d'Ivoire et se rattache au domaine soudanais [12]. Le domaine guinéen a une végétation prépondérante de forêt dense humide. On y distingue 4 secteurs caractérisés par des groupements végétaux particuliers répondants à des conditions écologiques différentes [12]. La Côte d'Ivoire est caractérisée par un relief peu élevé. Les terres sont constituées en majeure partie de plateaux et de plaines. L'Ouest du pays, région montagneuse, présente toutefois quelques reliefs au-delà de mille mètres (le mont Nimba culmine à 1 752 m). Hormis cette région, les altitudes varient généralement entre 100 et 500 mètres. La plupart des plateaux se situent autour de 300 à 400 mètres. Ceux-ci présentent différents aspects. Les plateaux les plus élevés sont rigides dans leurs formes ainsi que dans leurs matériaux. Ceux de niveaux intermédiaires ont assez souvent des formes émoussées. Les plus bas présentent quant à eux, une certaine rigidité, mais sont constitués de matériaux meubles. Des étendues énormes et verticales rigoureusement tabulaires et horizontales sont parfois présentes dans les régions de savanes, mais également sous les petits accrocs de savanes incluses dans la forêt dense. L'élément dominant de ces plateaux est constitué par une cuirasse ferrugineuse visible en surface sous forme de dalles de teinte rouille, mais parfois voilées de sables, de gravillons ou produits plus fins.

2.2 DONNÉES

Les données utilisées pour réaliser la présente étude sont issues du réseau national de mesures météorologiques de la Côte d'Ivoire. Les données de pluies mensuelles et de températures moyennes mensuelles proviennent de quarante-sept (47) postes pluviométriques et douze (12) stations synoptiques répartis sur tout le pays (Fig. 2). Elles ont été mises à notre disposition par la SODEXAM (Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique, Aéroportuaire et Météorologique). Le choix des stations a été guidé par la disponibilité et la qualité des données chronologiques (moins de lacunes). Les pluies de la période 1961-2016 varient entre 986,1 et 1984,4 mm avec une moyenne de 1262,7 mm. Quant au coefficient de variation (CV), il fluctue entre 14 et 30% avec une moyenne de 22%. La majeure partie des valeurs oscillent entre 2% et 25%, ce qui montre l'homogénéité des données utilisées sur la période 1961-2000. Les données de pluie collectées sur vingt-six (26) stations couvrant la période 1941-2000, varient entre 1208,67 et 2287,47 mm avec une moyenne de 1531,26 mm. Quant au coefficient de variation (CV), il fluctue entre 17 et 30% avec une moyenne de 21,40%. La majeure partie des valeurs oscille entre 2% et 25%, ce qui montre l'homogénéité des données utilisées. Les températures de la période 1961-2016 oscillent entre 23,76 et 27,88 °C avec une moyenne de 25,84 °C et un écart-type moyen de 0,41 °C. En ce qui concerne le coefficient de variation,

il oscille entre 1,25 et 2,13%. La majeure partie de ces valeurs de coefficient de variation varie entre 2 et 25%, ce qui montre l'homogénéité des données de températures utilisées sur la période 1961-2016. Les valeurs de température de la période 1941-2000 varient entre 23,76 et 28,68 °C avec une moyenne de 26,05 °C et un écart-type moyen de 0,58 °C. Quant au coefficient de variation, il va de 1,07 à 5,06%. Il y a 50% de valeurs comprises entre 2 et 25%, ce qui montre l'homogénéité des données utilisées.

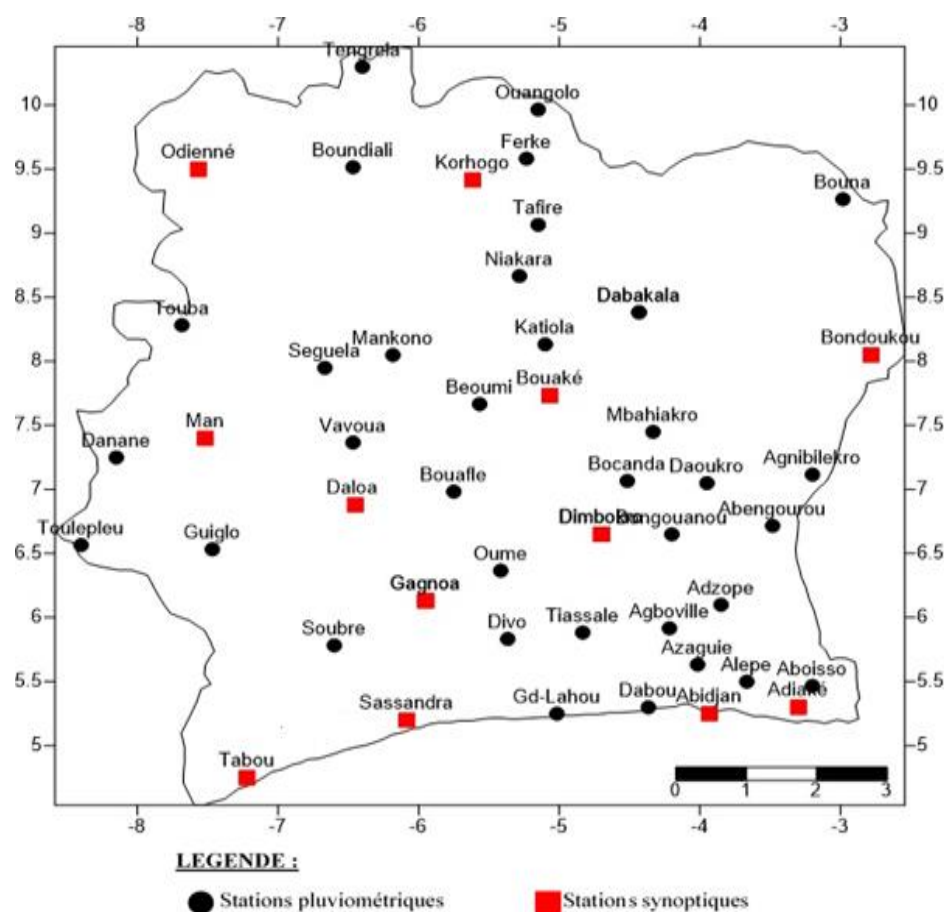


Fig. 2. Localisation des stations pluviométriques et synoptiques retenues

2.3 MÉTHODES UTILISÉES

2.3.1 MÉTHODES DE CARACTÉRISATION DES RÉGIMES CLIMATIQUES SAISONNIERS

Une analyse de deux indices climatiques (indice de Gaussen et indice de De Martonne) sur la période 1961-2016 a été effectuée pour caractériser les régimes climatiques saisonniers de la Côte d'Ivoire. L'indice de Gaussen (1952) permet d'identifier pour chaque station, la durée de la période sèche et partant celle de la saison pluvieuse, en s'appuyant sur la comparaison des moyennes mensuelles des températures (T en °C) avec celles des précipitations (P en mm) [10, 13-15].

Un mois est dit sec lorsque P est inférieure ou égale à $2T$; c'est-à-dire quand les pertes en eau (supposées causer par une température trop forte) sont supérieures aux apports (pluies). Inversement, quand P est supérieure à $2T$, le mois est considéré comme humide. Un mois est dit à tendance sèche lorsque les pluies sont comprises entre deux (2) fois et trois (3) fois la température moyenne mensuelle, soit $2T < P < 3T$. Le principe de cette méthode consiste à représenter sur un même graphe la température et la pluviométrie en ordonnée, pour les 12 mois de l'année en abscisse. Les échelles prises en ordonnée sont telles que 1°C correspond à 2 mm de précipitations. Une période est humide, à chaque fois que la courbe des pluies passe au-dessus de la courbe des températures. Une période est dite sèche dans le cas inverse. Cela permet de définir une aire ombrothermique. Plus l'aire est importante et plus la saison est sèche.

L'indice d'aridité annuel De Martonne (De Martonne 1926) est défini par l'équation 1 [10, 13-15]:

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (1)$$

P: hauteur des précipitations annuelles (mm);

T: température moyenne annuelle (°C).

L'aridité augmente quand la valeur de l'indice diminue (Tableau 1). De Martonne a proposé six grands types de macroclimats allant des zones désertiques ou hyperarides ($I < 5$) aux zones humides à forêt prépondérante ($I > 40$) [10, 13-15]:

Tableau 1. *Classification de l'indice De Martonne*

Indice I	Type de climat
$I < 5$	Hyperaride
$5 < I < 10$	Aride
$10 < I < 20$	Semi-aride
$20 < I < 30$	Semi-humide (climat tropical)
$30 < I < 40$	Humide (climat tropical humide)
$I > 40$	Très humide (climat équatorial ou montagnard)

2.3.2 MÉTHODE D'ANALYSE DE L'INFLUENCE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RÉGIMES CLIMATIQUES

L'analyse de l'influence des changements climatiques sur les régimes climatiques a été effectuée sur deux sous-périodes de trente (30) ans (1941-1970; 1971-2000) à partir de l'indice de Gauss et de l'indice de De Martonne. En effet, en Afrique de l'Ouest en général et en Côte d'Ivoire en particulier, les phénomènes de changements climatiques sont apparus autour des années 1970. Le choix de la période de trente ans se justifie par le critère hydrologique de définition des normes basées sur 30 ans.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS DE LA CARACTÉRISATION DES RÉGIMES CLIMATIQUES SAISONNIERS

3.1.1 RÉSULTATS DE L'INDICE DE GAUSSEN

L'application de l'indice de Gaussen à chaque station a permis de distinguer trois (3) régimes climatiques en Côte d'Ivoire (Fig. 3):

- Le régime climatique unimodal;
- Le régime climatique bimodal à deux saisons;
- Le régime climatique bimodal à quatre saisons.

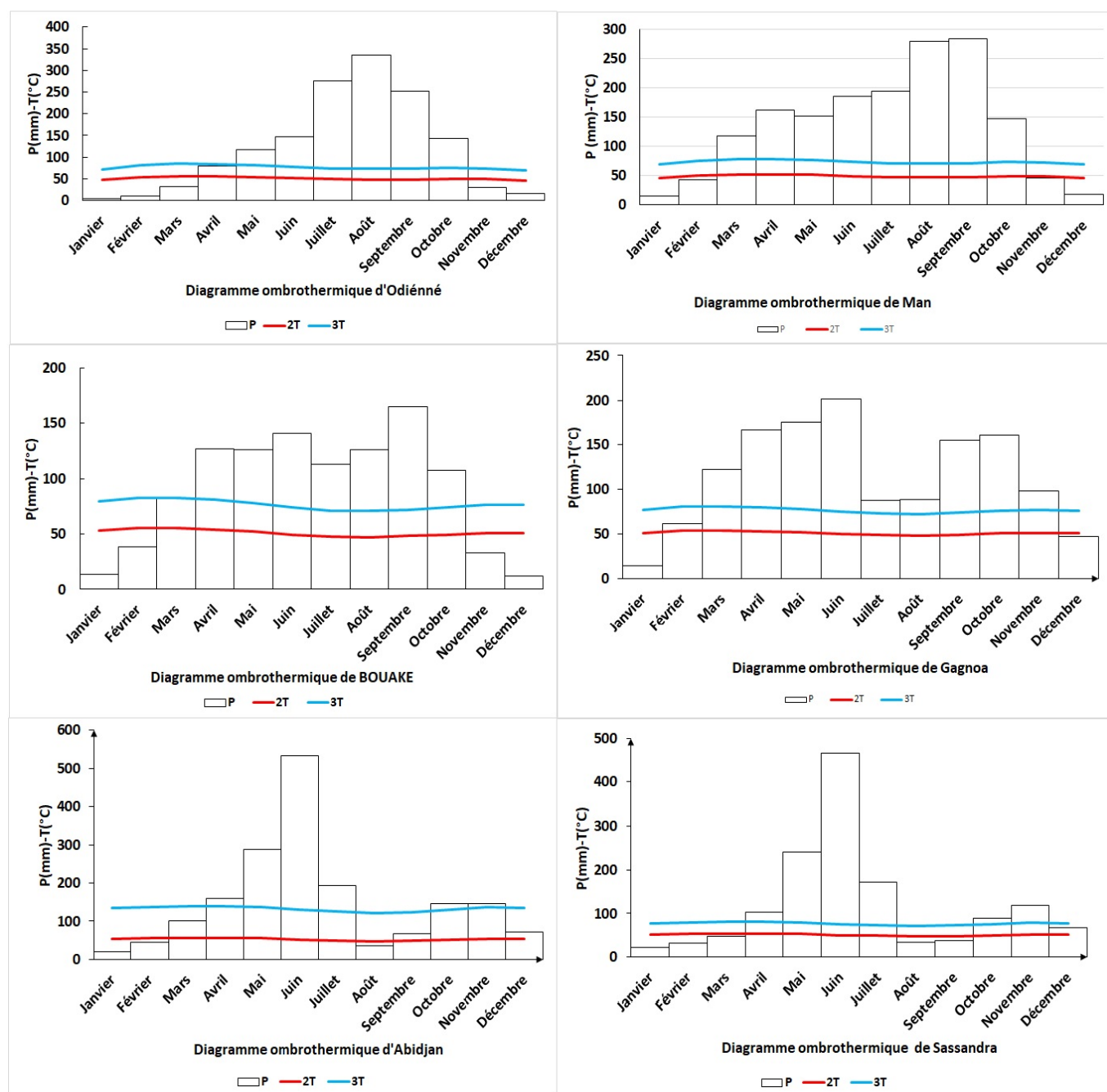


Fig. 3. Diagrammes ombrothermiques des régimes climatiques de la Côte d'Ivoire

Les stations qui reflètent le régime climatique unimodal sont celles de Tengréla, Odienné, Korhogo, Boundiali, Ferké, Tafiré, Ouangolo, Man, Danané, Bouna et Niakara. Ce régime est localisé dans les parties nord et nord-ouest du pays. Les diagrammes ombrothermiques de chaque station ont permis de mettre en évidence de manière générale un régime climatique unimodal à deux (2) saisons caractérisé par une saison sèche et une saison humide ou pluvieuse (Fig. 3). La saison pluvieuse dure sept (7) mois pour les stations localisées au Nord de la Côte d'Ivoire. Elle débute en avril et prend fin en octobre. Les hauteurs maximales de pluie sont observées au mois d'août, à l'exception de la station de Tafiré qui présente un maximum au mois de septembre. La saison sèche, quant à elle, avec une durée moyenne de cinq (05) mois se manifeste de novembre à mars. Elle enregistre en moyenne 16,37 mm de pluie au pas de temps mensuel. Les mois les plus arrosés pendant cette période sont les mois de mars et de novembre avec en moyenne respectivement 36,23 mm et 23,86 mm. Des mois humides à tendance sèche (mois d'avril) ont aussi été mis en évidence au niveau des stations de Tafiré, Ouangolo, Tengrela et Odiénne. A la station de Bouna, le mois humide à tendance sèche est mars. Au niveau des stations de Danané et de Man à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, la saison pluvieuse dure 8 à 9 mois. Elle débute en mars et prend fin en octobre. La saison sèche ne dure que 4 mois. Le mois de novembre est un mois humide à tendance sèche au niveau de Danané.

Le régime climatique bimodal à deux saisons est localisé généralement dans la partie centrale de la Côte d'Ivoire (Centre-Nord, Nord-Ouest, Centre, Est et Ouest). Il concerne les stations de Katiola, Dabakala, Touba, Séguéla, Mankono, Bouaké, Béoumi, M'bahiakro, Bouaflé, Abengourou, Bondoukou, Daloa, Gagnoa, Soubré, Vavoua, Guiglo et Toulepleu. Les diagrammes ombrothermiques de ces stations sont bimodaux avec une seule saison des pluies qui débute généralement en mars et s'achève en octobre (Fig. 3). Cette saison de pluie dure en moyenne 8 mois avec une légère dépression en juillet-août. Elle est caractérisée par deux pics. Le premier pic est généralement obtenu en mai-juin et le second en septembre. Cependant, le mois de juillet ou août ne peut être qualifié de mois sec étant donné l'importance de la hauteur d'eau mensuelle recueillie, atteignant parfois des valeurs de plus de 150 mm et supérieures à deux fois la température moyenne mensuelle. Quant à la saison sèche, elle couvre généralement 4 mois qui sont les mois de janvier, février, novembre et décembre. S'agissant des stations de Toulepleu et Gagnoa, la saison pluvieuse dure neuf (9) mois (mars-novembre). Le mois de novembre est un mois humide à tendance sèche. Les pics pluvieux sont observés respectivement en juin et septembre. La saison sèche dure trois (3) mois (décembre-février). A Gagnoa, le mois de février est humide à tendance sèche. Des spécificités ont été constatées au niveau des stations de Touba, Séguéla, Mankono, Katiola et Dabakala. Ces stations ont le mois de mars qui est humide à tendance sèche. La station de Guiglo comporte également un mois humide à tendance sèche situé en novembre.

Les diagrammes ombrothermiques des stations d'Abidjan, Adiaké, Dabou, Sassandra, Grand-Lahou reflètent le régime climatique bimodal à quatre saisons. Ce sont les stations (Fig. 3). En effet, pour ces stations $P < 2T$ au mois d'août. Il s'agit des stations situées généralement dans la zone. Au niveau des saisons des pluies, la première saison des pluies commence généralement, en février pour s'achever au mois de juillet et dure globalement 5 mois. La deuxième saison des pluies est moins longue et dure 3 mois (septembre, octobre et novembre). Les saisons des pluies sont séparées par 2 saisons sèches. La plus grande saison sèche démarre en décembre et prend fin en février soit une durée de trois mois. La petite saison sèche appelée inter-saison est très courte centrée sur le mois d'août. Cependant, qu'il s'agisse des saisons des pluies ou des saisons sèches, leurs durées restent variables selon les localités.

Des cas particuliers de régimes climatiques ont été observés. Le premier cas particulier concerne la station de Tabou où le mois d'août est humide. Le régime climatique correspondant à cette station est caractérisé par deux saisons à deux modes. La saison pluvieuse dure dix (10) mois (mars à décembre). La saison sèche dure deux (2) mois (janvier-février). Le mois le plus pluvieux du premier mode est le mois de juin. Le mois le plus pluvieux du deuxième mode est celui de septembre. Le second cas particulier concerne les stations de Dimbokro, Agnibiekro, Bongouanou, Bocanda, Daoukro, Divo, Oumé, Tiassalé, Agboville, Adzopé, Alépé et Azaguié où le mois d'août est humide à tendance sèche. Ces stations sont caractérisées par deux saisons. Une saison pluvieuse qui débute généralement en février et qui s'achève en novembre et qui dure en moyenne 8 à 9 mois avec une dépression en juillet-août. Une saison sèche qui est très brève et qui couvre généralement trois à quatre mois, soit de novembre ou décembre à février. L'analyse du diagramme révèle en effet deux pics, le premier en juin et le second en septembre.

Sur toute l'étendue du territoire ivoirien, les mois correspondant aux mois pluvieux sont avril, mai, juin, juillet et octobre. Ainsi, l'indice de Gaussen a permis de mettre en évidence sur l'ensemble du territoire ivoirien, six (6) zones climatiques homogènes, au nombre desquelles trois sont caractéristiques du régime climatique équatorial de transition (climat attéen):

- Zone climatique homogène 1: climat tropical de transition ou soudanais;
- Zone climatique homogène 2: climat équatorial de transition atténué ou baouléen;
- Zone climatique homogène 3: climat de montagnes;
- Zone climatique homogène 4: climat équatorial de transition 1 ou attéen du littoral;
- Zone climatique homogène 5: climat équatorial de transition 2 ou attéen de l'intérieur;
- Zone climatique homogène 6: climat équatorial de transition 3 ou attéen du sud-ouest.

3.1.2 RÉSULTATS DE L'INDICE DE DE MARTONNE

Les résultats de l'indice de De Martonne pour les stations étudiées, sont consignés dans le tableau 2. Les valeurs de l'indice varient entre 27,56 (Bouna) et 62,37 (Tabou) avec une moyenne de 36,76. La classification des valeurs des indices de De Martonne de chaque station (Tableau 3) a permis de faire les constats suivants:

- 8 stations ont des valeurs de l'indice de De Martonne comprises entre 20 et 30, soit 17,02% des stations; le climat en présence est un climat semi-humide ou climat tropical;
- 25 stations ont des valeurs d'indices comprises entre 30 et 40, soit 53,2% des stations. Le climat en présence est un climat humide ou climat tropical humide;
- 14 stations ont des valeurs d'indices supérieures à 40, soit 29,79% des stations. Le climat en présence est dit climat très humide (climat équatorial ou climat de montagne).

Tableau 2. Indices de De Martonne des stations étudiées (1961-2016)

Stations	Indice	Stations	Indice	Stations	Indice	Stations	Indice
Bouna	27,56	Odiénné	40,62	Tabou	62,37	Oumé	34,21
Niakara	30,56	Boundiali	39,66	Abengourou	44,86	Tiassalé	32,41
Seguela	31,87	Korhogo	33,95	Aboisso	45,85	Soubre	38,94
Touba	33,37	Ferké	30,37	Adzopé	36,9	Vaoua	31,69
Beoumi	29,88	Tengrela	30,75	Agboville	36,9	Grand-Lahou	41,32
Bondoukou	30,58	Ouangolo	28,54	Agnibilékro	44,86	Sassandra	40,14
Bouafle	32,85	Tafiré	28,95	Alépé	39,55	Gagnoa	38,82
Bouake	30,53	Danané	57,74	Azaguié	43,18	M'bahiakro	28,31
Dabakala	28,44	Man	47,6	Bocanda	30,72	Mankono	32,56
Daloa	28,44	Toulepleu	48,01	Bongouanou	31,81	Dabou	45,07
Guiglo	28,44	Abidjan	49,22	Daoukro	30,14	Divo	36,35
Katiola	30,63	Adiaké	50,89	Dimbokro	31,43		

Tableau 3. Classification des stations en fonction des valeurs de l'indice de De Martonne

Indice	Type de climat	Stations
20<I<30	Climat semi-humide (climat tropical)	Bouna, Dabakala, Béoumi, Daloa, Guiglo, Ouangolo, Tafiré, M'bahiakro
30<I<40	Climat humide (climat tropical humide)	Niakara, Séguéla, Touba, Bondoukou, Bouaké, Katiola, Boundiali, Korhogo, Ferké, Tengrela, Adzopé, Agboville, Alépé, Bocanda, Bongouanou, Daoukro, Dimbokro, Oumé, Tiassalé, Soubre, Vavoua, Gagnoa, Mankono, Divo, Bouafle
I>40	Climat très humide (climat équatorial ou climat montagnard)	Odiénné, Danané, Man, Toulepleu, Abidjan, Adiaké, Tabou, Abengourou, Aboisso, Agnibilékro, Azaguié, Grand-Lahou, Sassandra, Dabou

Selon les résultats de l'indice de De Martonne, il est possible de diviser le climat ivoirien en quatre zones climatiques homogènes:

- Zone climatique homogène 1: le climat équatorial ou équatorial de transition situé au Sud sur le littoral (indice de De Martonne supérieur ou égal à 40);
- Zone climatique homogène 2: le climat de montagnes situé à l'Ouest (indice de De Martonne supérieur ou égal à 40);
- Zone climatique homogène 3: le climat tropical de transition situé au Nord du pays (indice de De Martonne généralement compris entre 20 et 40);
- Zone climatique homogène 4: le climat équatorial de transition atténué situé au Centre (indice de De Martonne généralement compris entre 30 et 40).

3.2 RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE L'INFLUENCE DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RÉGIMES CLIMATIQUES SAISONNIERS

Au sein du régime tropical de transition (soudanais) où règne un régime climatique unimodal (deux saison), trois schémas de modification ont été mis en évidence (Fig. 4). D'abord, il s'agit des cas de mois humides qui sont passés aux mois humides à tendance sèche. C'est l'exemple de la station de Boundiali où le mois d'avril était un mois humide avant 1970 et est passé à un mois humide à tendance sèche après 1970. Ensuite, il y a les cas de mois humides à tendance sèche qui sont passés aux mois secs. Ainsi, il a été constaté au niveau de la station d'Odiénné que le mois de novembre était un mois humide à tendance sèche avant 1970 qui est passé à un mois sec après 1970. Enfin, il y a les cas où aucune modification n'a été constatée. C'est le cas à la station de Ferké. Au niveau des stations de l'Ouest montagneux, il est également observé qu'au niveau des stations de Man et Danané, le mois de février était un mois humide à tendance sèche avant 1970. Il est passé après 1970, à un mois sec. Particulièrement au niveau de Danané, le mois de novembre est passé d'un mois humide à tendance sèche (avant 1970) à un mois sec (après 1970).

Au sein des stations du Centre, Centre-Ouest et Est de la Côte d'Ivoire où règne un régime climatique bimodal à deux saisons, trois schémas de modification ont été mis en évidence. D'abord, il s'agit des cas de mois humides à tendance sèche qui sont passés aux mois secs. C'est l'exemple des stations de Béoumi, Guiglo et Toulepleu. Il est constaté que le mois de février était un mois humide à tendance sèche avant 1970 et est passé à un mois sec après 1970. Ensuite, il y a les cas de mois humides qui sont passés aux mois humides à

tendance sèche. C'est le cas de la station de Séguéla. Le mois de mars était un mois humide (avant 1970) qui est passé à un mois humide à tendance sèche (après 1970). Par ailleurs, le mois de novembre était un mois humide à tendance sèche (avant 1970) qui est passé à un mois sec après 1970. Enfin, il y a les cas de mois humides à tendance sèche qui sont passés aux mois humides. C'est l'exemple de la station de Gagnoa où le mois d'août qui était un mois humide à tendance sèche est passé à un mois humide. Les stations de Bouaké, Touba, Dabakala ne présentent aucune variation du régime climatique.

Aucune modification du régime climatique n'a été constatée au niveau des stations du littoral marqué par un régime climatique bimodal à quatre saisons (Abidjan, Grand-Lahou, Sassandra, Adiaké).

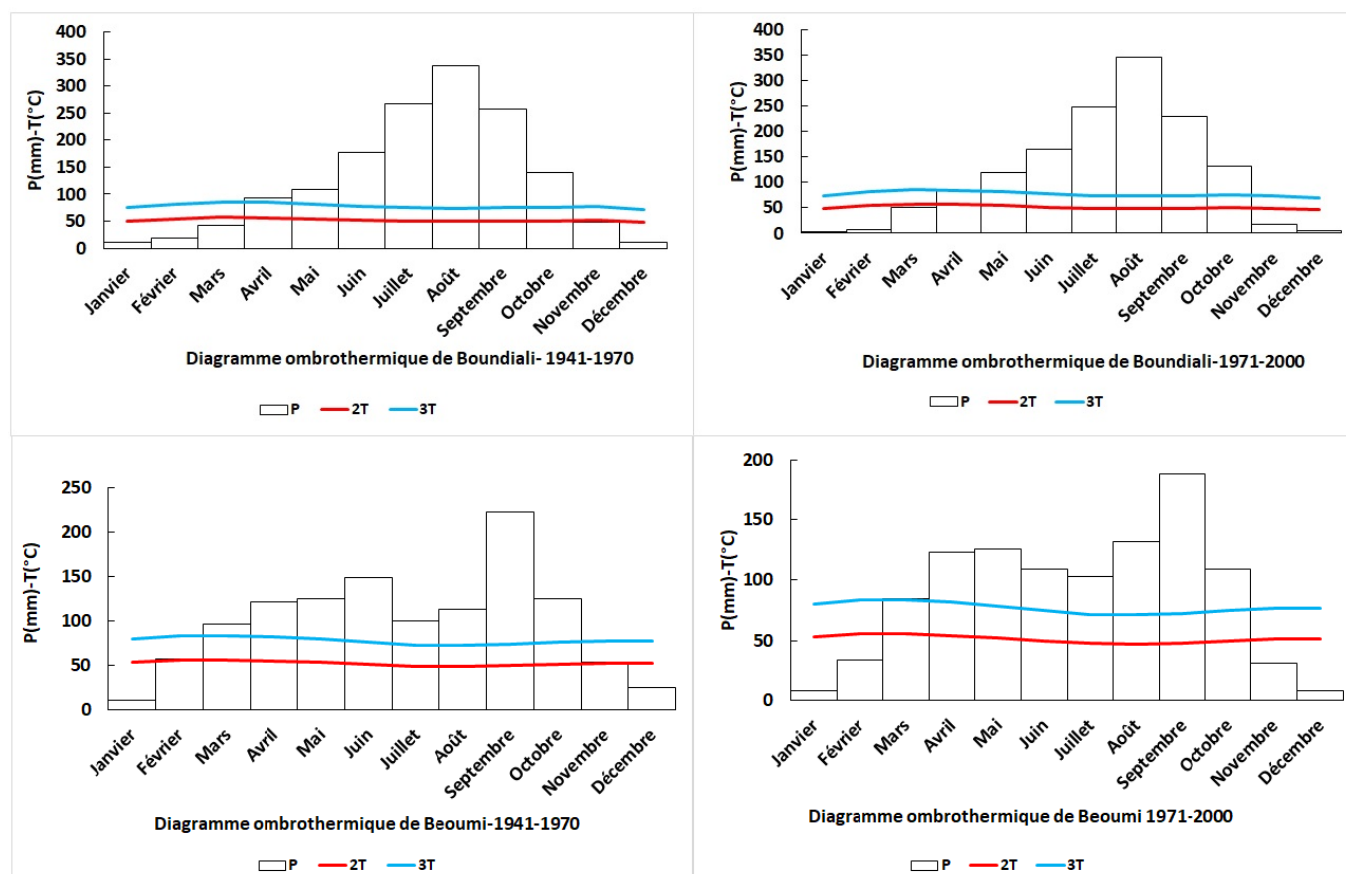


Fig. 4. Variations des régimes climatiques de la Côte d'Ivoire avant et après 1970

Des particularités ont été également observées. Au niveau de Tabou, le mois de janvier était un mois humide à tendance sèche avant 1970. Ce mois est passé à un mois sec après 1970. En plus, trois schémas de modification ont été mis en évidence. D'abord, il s'agit des cas de mois humides qui sont passés aux mois secs. C'est l'exemple des stations d'Agboville et Adzopé où le mois de novembre qui était humide est passé à un mois sec. Ensuite, les cas de mois secs qui sont passés aux mois humides à tendance sèche. C'est le cas de Tiassalé où le mois d'août qui était un mois sec avant 1970 est passé à un mois humide à tendance sèche. Enfin, les cas de mois à tendance sèche qui sont passés aux mois secs. C'est le cas d'Abengourou où le mois de novembre qui était un mois à tendance sèche avant 1970, est passé à un mois sec. Aucune modification de régime climatique n'a été constatée au niveau de la station d'Azaguié.

3.3 DISCUSSION

Les résultats obtenus à partir de l'indice de Gaussen montrent que le climat de montagnes ivoirien est un climat complexe caractérisé par l'influence des climats tropical de transition et équatorial de transition atténué et entretenu par le relief montagneux de l'Ouest de la Côte d'Ivoire. En effet, il est constaté la cohabitation de deux régimes climatiques à savoir le régime climatique unimodal à deux saisons (une saison pluvieuse et une saison sèche) et le régime pluviométrique bimodal à deux saisons (une saison pluvieuse et une saison sèche).

Les diagrammes ombrothermiques définis à partir de l'indice de Gaussen ont permis de déterminer les régimes climatiques au niveau de la Côte d'Ivoire. L'intégration dans cet indice de deux paramètres de natures différentes moyennant le coefficient multiplicatif deux (2) s'explique par le fait que la valeur de 2T a été assimilée à la demande évaporative de l'atmosphère (ETP) [10]. En somme, l'indice d'aridité de Gaussen traduit la somme des déficits mensuels corrigés de leur concentration (intégrale de la courbe 2T-P corrigée de la concentration mensuelle).

Il est constaté une bonne adéquation entre les différents indices climatiques utilisés (indice de Gaussen et indice de De Martonne). Ainsi, la confrontation des résultats amène à conclure que les stations de M'bahiakro et de Gagnoa pourraient être classées dans le climat équatorial de transition atténué. Conformément aux caractéristiques du climat tropical de transition et du climat équatorial de transition atténué, il est aussi possible de classer les stations de Bouna et Niakamandougou dans le climat tropical de transition. Quant aux stations d'Aboisso et de Tabou, au regard de leurs fortes valeurs de l'indice de De Martonne, restent toujours dans le domaine équatorial de transition bien que leurs allures graphiques semblent s'apparenter à celles du climat équatorial de transition atténué. On peut séparer Tabou d'Aboisso au regard de leurs valeurs de De Martonne et leurs situations géographiques. Ainsi, l'équatorial de transition 1 ou l'attiéen du littoral est assimilé aux stations du littoral et est composé des stations d'Abidjan, Dabou, Grand-Lahou, Sassandra et Adiaké. Le climat équatorial de transition 2 ou attiéen de l'intérieur est composé des autres stations du climat équatorial de transition en dehors de la station de Tabou qui a un caractère très particulier. En effet, le régime climatique déterminé à partir de l'indice de Gaussen et la valeur de l'indice de De Martonne ont un caractère particulier vis-à-vis des stations voisines.

Le régime climatique de Tabou ne reflète pas celui du climat équatorial de transition 1 ni celui du climat équatorial de transition 2. La valeur de De Martonne (62) est la plus forte et reflète un régime équatorial.

De ce fait, la station de Tabou ne peut être classée parmi les stations du littoral bien qu'elle soit située sur le littoral ni appartenir au climat équatorial de transition 2. Cette station appartient à la zone équatoriale de transition 3 ou l'attiéen du Sud-Ouest à l'instar des stations telles que Taï et Grabo [2]. La station d'Aboisso a été considérée comme appartenant à la zone équatoriale de transition 2 ou l'attiéen de l'intérieur au regard de sa valeur de De Martonne. La synthèse des deux indices est présentée par le tableau 4.

Tableau 4. *Caractéristiques des régimes climatiques ivoiriens*

Zone climatique	Indices de Gaussen		Indices de De Martonne	
	Régime climatique	Durée de la saison pluvieuse (mois)	Indice	Type de climat
Zone 1	Unimodal à 2 saisons	7	28	Climat tropical de transition
Zone 2	Bimodal à 2 saisons	8	34	Climat équatorial de transition atténué
Zone 3	Unimodal à 2 saisons	8-9	52	Climat de montagne
Zone 4	Bimodal à 4 saisons	Saison 1: 5 Saison 2: 3	45	Climat équatorial de transition 1
Zone 5	Bimodal à 2 saisons	8-9	38	Climat équatorial de transition 2
Zone 6	Bimodal à 2 saisons	10	62	Climat équatorial de transition 3

Une synthèse des résultats des indices climatiques a permis de reproduire la carte du zonage climatique de la Côte d'Ivoire (Fig. 5).

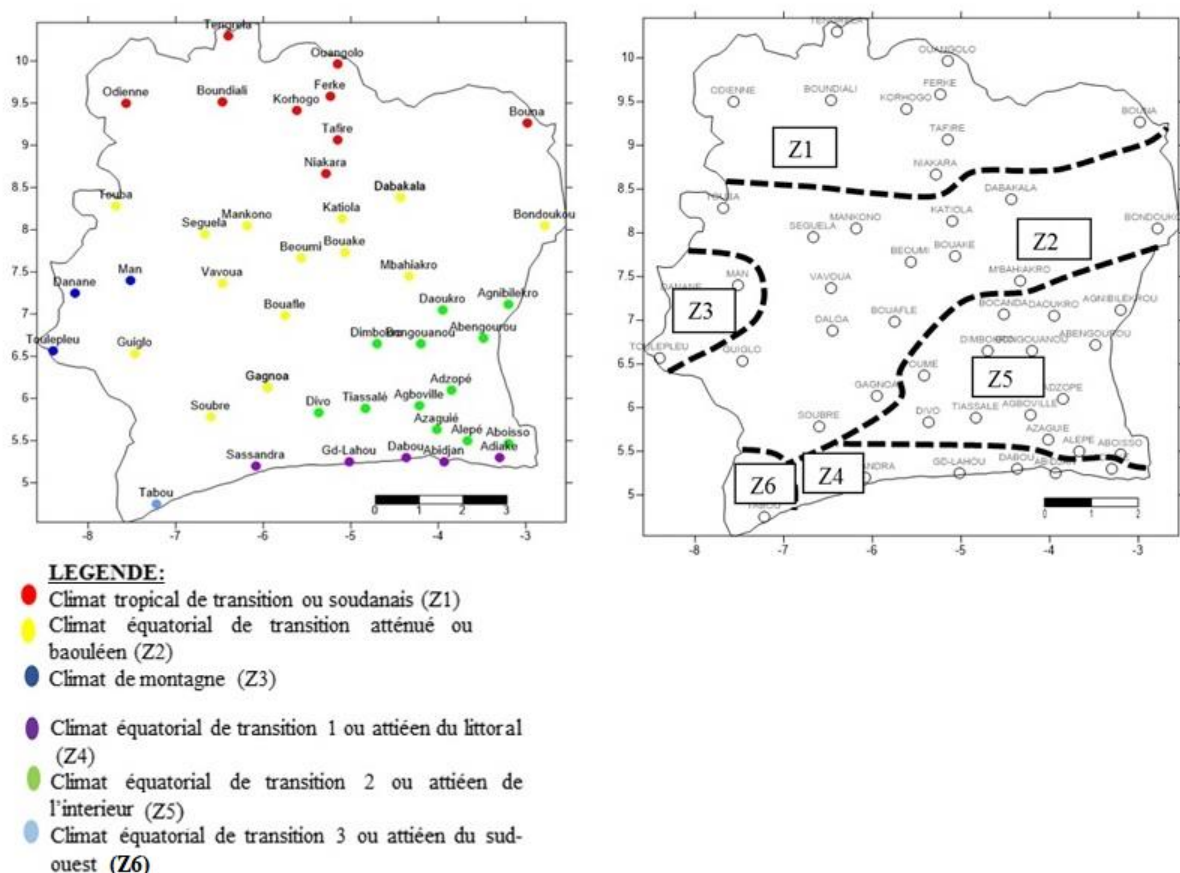


Fig. 5. Zonage climatique de la Côte d'Ivoire à partir des indices climatiques

Une confrontation des résultats de zonage climatique réalisé à partir des indices climatiques et des méthodes multivariées (ACP et CHA) appliquées par Kouao *et al.* [9] a été faite. Les indices climatiques ont confirmé les résultats de l'ACP au niveau de l'appartenance des stations de Tengrela, Odienné, Boundiali, Ouangolo, Ferké, Korhogo, Tafié, Niakara et Bouna au régime tropical de transition (climat soudanais). Cependant, la station de Touba a été identifiée comme appartenant au climat tropical humide (climat baouléen), ce qui confirme les résultats de la CHA contrairement à l'ACP qui l'a intégré dans le climat soudanais. Au niveau du régime montagnard, alors que les différentes méthodes multivariées s'accordent sur l'appartenance des quatre (4) stations retenues (Man, Guiglo, Danané et Toulepleu) au régime de Montagnes, les indices climatiques classent la station de Guiglo dans le régime tropical humide (climat baouléen). Les indices climatiques ont pu dissocier la station de Tabou qui représente une particularité du climat équatorial de transition (climat attéen du Sud-Ouest) du climat attéen du littoral (Abidjan, Adiaké, Dabou, Grand-Lahou et Sassandra) contrairement aux méthodes multivariées. Les indices climatiques ont permis de préciser le contour du climat baouléen en incluant les stations de Bouaflé, Daloa, Gagnoa et Soubré, qui ont été considérées comme appartenant au climat attéen de l'intérieur par les analyses multivariées. Les indices climatiques utilisés ont donc été pertinents dans le zonage climatique de la Côte d'Ivoire et se présentent comme une bonne complémentarité aux méthodes multivariées.

Les résultats obtenus ont été confrontés aux travaux antérieurs d'autres auteurs. Selon les travaux de Kouakou *et al.* [7] réalisés sur la période 1980-2000 à partir de l'indice de Gaussen, les stations de M'bahiakro, Dimbokro, Daoukro, Divo, Abengourou, Agnibilekrou et Gagnoa, anciennement dans le climat équatorial de transition ont basculé dans le climat équatorial de transition atténué. Des points de convergence ont été constatés au niveau des stations de M'bahiakro et Gagnoa. Cependant, des divergences demeurent en ce qui concerne les autres stations. Ces divergences sont liées au fait que Kouakou *et al.* [7] se soient limités au seuil de 2T alors que ce seuil, ainsi que le seuil de 3T, ont été pris en compte dans l'étude menée. En effet, en considérant le seuil de 2T, nous parvenons aux mêmes conclusions. Des points d'accord ont été obtenus au niveau des stations de Bouna et de Niakaramandougou qui ont basculé dans le climat tropical de transition. La station de Gagnoa a aussi basculé dans le climat équatorial de transition atténué. Des points de désaccord ont été également observés au niveau de la station de Séguéla qui a basculé dans le climat tropical de transition selon Kouakou *et al.* [7]. Cette station était considérée comme appartenant au climat équatorial de transition atténué selon cette étude et les travaux de Goula

et al. [16]. Il en est de même pour la station de Toulepleu qui a été considérée comme station du climat de montagne à la suite de ce travail alors que Kouakou *et al.* [7] l'ont déclaré comme station du climat équatorial de transition atténué.

Les changements climatiques constatés en Afrique de l'Ouest en général et en Côte d'Ivoire en particulier, ont eu pour conséquences de modifier les régimes climatiques de façon générale sur toute l'étendue du territoire. Cependant, le littoral ivoirien n'aurait pas été touché par le phénomène. Les travaux de Servat *et al.* [17] sur l'Afrique de l'Ouest et Centrale ont montré que sur l'ensemble des pays étudiés que seuls 3 pays de l'Afrique de l'Ouest bordant le Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Togo et Bénin) ont connu des modifications notables au niveau des régimes climatiques. En effet, le déroulement des saisons des pluies semble dorénavant un peu différent de ce qui était observé précédemment (avant la sécheresse). Le littoral reste toutefois une zone à 2 saisons des pluies. Une tendance au raccourcissement des saisons des pluies semble se dégager. Plus précisément, en Côte d'Ivoire, la seconde saison des pluies a une durée plus courte qu'auparavant. La première saison des pluies connaît la même tendance, mais de manière moins importante. Au Togo comme au Bénin, le raccourcissement de la durée touche surtout la première saison des pluies. Au Cameroun, c'est l'inverse. Selon Servat *et al.* [17], l'analyse des dates de début et de fin de saison des pluies dans les zones à une ou à deux saisons des pluies montre que l'une de ces saisons, voire les deux, a, en effet, une durée plus courte qu'auparavant.

Cela est lié au fait que, soit la saison des pluies débute plus tardivement, soit elle s'arrête plus précocement, sans qu'il soit cependant possible de généraliser. Ce relatif raccourcissement des durées de saisons des pluies s'inscrit cependant, très logiquement dans le cadre de la baisse de la pluviométrie constatée dans toute la zone ouest africaine et centrale.

La comparaison des moyennes pluviométriques mensuelles des données des stations du Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire sur les périodes 1951-1960 (période humide) et 2001-2008 (période sèche) effectuée par Diomandé [18], a montré que d'une façon générale, en raison de l'inégale répartition des quantités de pluie, les mois de mars et octobre sont en train de basculer de nos jours, dans la tendance des mois secs. On assiste à une accentuation du caractère unimodal qui tend à se limiter à un nombre réduit de mois humides dans l'année.

Les travaux de Yao *et al.* [19] sur le bassin versant de la Lobo (Ouest de la Côte d'Ivoire) portant sur la variation moyenne mensuelle interannuelle des précipitations avant et après la rupture de 1966 ont montré que la différence notable réside dans le fait que les quantités d'eau précipitées après la rupture sont relativement en baisse indépendamment des saisons. Néanmoins, on constate qu'au mois d'août la pluviométrie après rupture est supérieure à celle d'avant rupture. L'observation générale montre que les mois les plus pluvieux (septembre et octobre) sont les plus affectés par la baisse de la pluviométrie.

4 CONCLUSION

La combinaison de l'indice de Gauss et de l'indice de De Martonne a permis d'apporter des réponses à la problématique de la dynamique des régimes climatiques saisonniers de la Côte d'Ivoire dans un contexte de climat changeant. En effet, l'étude menée à partir de l'indice de Gaussen a permis de déterminer plusieurs régimes climatiques saisonniers en Côte d'Ivoire: le régime unimodal à deux saisons, le régime bimodal à deux saisons, le régime bimodal à quatre saisons et des régimes spécifiques. Aussi, l'indice de De Martonne a permis de déterminer trois différents types de régimes climatiques (climat semi-humide, climat humide, climat très humide). Ainsi, la combinaison des deux indices a permis de mettre en évidence six (6) zones climatiques homogènes que sont le climat tropical de transition ou soudanais, le climat équatorial de transition ou baouléen, le climat de montagnes, le climat équatorial de transition 1 ou attién du littoral, le climat équatorial de transition 2 ou attién de l'intérieur et le climat équatorial de transition 3 ou attién du Sud-Ouest. L'analyse sur deux périodes trentenaires (1941-1970 et 1971-2000), a montré que les changements climatiques constatés en Afrique de l'Ouest en général et en Côte d'Ivoire en particulier, ont eu pour conséquences de modifier les régimes climatiques saisonniers de façon générale sur toute l'étendue du territoire. Cependant, le littoral ivoirien n'aurait pas été touché par le phénomène. Les résultats obtenus peuvent servir de base pour la caractérisation et la prévision de la sécheresse en Côte d'Ivoire.

REMERCIEMENTS

Les auteurs de cet article remercient les instructeurs dont les critiques et les suggestions ont permis d'améliorer le présent article. Ils remercient également la SODEXAM pour leur avoir fourni les données de pluie et de température utilisées dans cette étude.

REFERENCES

- [1] Salama H., « Régionalisation pluviométrique du bassin Tensift (Maroc). », Larhyss Journal, n°9, pp.111-119, 2010.
- [2] Soro G., « Modélisation statistique des pluies extrêmes en Côte d'Ivoire », Thèse de Doctorat, Université Nangui-Abrégoua, Côte d'Ivoire, 172p., 2011.
- [3] Talia A., Meddi M., Bekoussa B.S., « Etude de la variabilité de la pluviométrie dans les hauts plateaux et le Sahara algériens. », Sécheresse, vol.22, pp.149-58, 2011.
- [4] Goula B.T.A., Soro G.E., Kouassi W., Srohourou B., « Tendances et ruptures au niveau des pluies journalières extrêmes en Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). », Hydrological Sciences Journal, vol.57, n°6, pp.1067-1080, 2012.
- [5] Chibane B., Bentchakal M., Medjerab A., Benfares B., « De la variabilité et de la structure de pluie annuelle dans une région semi-aride: cas du bassin versant de la MACTA (Nord-Ouest algérien). », Larhyss Journal, n°23, pp.213-229, 2015.
- [6] Koudou A., Kouamé K.A., Niamké K.H., Kouamé K.F., Saley M.B., Adja M.G., « Contribution de l'analyse en composantes principales à la régionalisation des pluies du bassin versant du N'zi, de la Côte d'Ivoire. », Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies, vol.26, pp.156-172, 2015.
- [7] Kouakou K.E., Moussa H., Kouassi A.M., Goula B.T.A., Savané I., «Redefinition of homogeneous climatic zones in Cote d'Ivoire in a context of climate change.», International Journal of Scientific & Engineering Research, vol.8, n°11, pp.453-462, 2017.
- [8] Touhami M., « Régionalisation et variabilité pluviométrique dans le Nord-Centre Ouest de Algérie (Approche statistique) », Mémoire pour l'obtention du Master en Sciences de la Nature et de la Vie, Université Djilali Bounaama Khemis, 52p., 2017.
- [9] Kouao J.M., Kouassi A.M., Dekoula S.C., Asseufi B.D., « Analyse de la régionalisation climatique de la Côte d'Ivoire dans un contexte de climat changeant. », Larhyss, n°41, pp.233-259, 2020.
- [10] Mokhtari N., Mrabet R., Lebaillly P., Bock L., « Spatialisation des bioclimats, de l'aridité et des étages de végétation du Maroc. », Revue marocaine des sciences agronomiques et vétérinaire, vol.2, n°1, pp.50-66, 2013.
- [11] Kotti C., Mahé G., Habaieb H., Dieulin C., Calvez R., Ben-Ali H., « Etude des pluies et des débits sur le bassin versant de la Medjerda, Tunisie. », Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre, n°38, pp.19-28, 2016.
- [12] Brou Y.T., «Climat, mutations socio-économiques et paysages en Côte d'Ivoire», Mémoire de synthèse des activités scientifiques présenté en vue de l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des sciences et technologies de Lille, France, 226p., 2005.
- [13] Bridi K., « Impact des changements climatiques sur l'environnement du bassin du Tensift », Master Sciences et Techniques: Hydrologie de Surface et Qualité des Eaux, Université Sidi Mohammed Ben Abdallah, Faculté des Sciences et Techniques, Maroc, 78p., 2012.
- [14] Farah A.K., « Changement climatique ou variabilité climatique dans l'Est algérien », Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Magistère en écologie et environnement Option: pathologie des écosystèmes forestiers, 113p., 2014.
- [15] Sebaibi A., « Potentialités agro-climatiques de la région de Zenata et de Maghnia: Étude d'une longue série climatique », Université Abou-Bekr Belkaid – TLEMCEM, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers Département d'Agronomie et de Foresterie, 165 p., 2014.
- [16] Goula B.T.A., Konan B., Brou Y.T., Savané I., Fadika V., Srohourou B., « Estimation des pluies exceptionnelles journalières en zone tropicale: cas de la Côte d'Ivoire par comparaison des lois Lognormale et de Gumbel. », Journal des Sciences Hydrologiques, vol.52, n°2, pp.49-67, 2007.
- [17] Servat E., Paturel J.E., Lubes-niel H., Kouamé B., Masson J.M., Travaglio M., Marieu B., « De différents aspects de la variabilité de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne. », Revue des Sciences de l'Eau, vol.12, n°2, pp.363-387, 1999.
- [18] Diomandé B.I., « Evolution climatique récente dans les régions Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire et ses impacts environnementaux et socio-économiques », Thèse de Doctorat Unique, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 181p., 2011.
- [19] Yao A.B., Goula B.T.A., Kouadio Z.A., Kouakou K.E., Kané A., Sambou S., « Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide: cas du bassin versant de la Lobo au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. », Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie, n°19, pp.136-150, 2012.

Modélisation statistique et alertes de crues dans le bassin versant de la Marahoué (Bandama, Côte d'Ivoire)

[Statistical modeling and flood alerts in the Marahoué watershed (Bandama, Ivory Coast)]

Assoko Adjoa Victoire Sandrine¹, Kouassi Amani Michel², and Nassa Relwindé Abdoul-Karim¹

¹Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Ecole Doctorale Polytechnique (EDP), B.P. 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STeRMi), Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et des Sciences Géographiques, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2021 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 objective of this study is to model the maximum monthly average annual flows (Q_{MXA}) in order to define a flood warning system in the catchment area of the Marahoué (Bandama) (Bouaflé hydrometric station). The methodology used is based on frequency analysis of Q_{MXA} (1961-2017) and also on the determination of flood thresholds to give early warnings. Standard laws were selected to conduct frequency analysis. It is clear from this study that the Q_{MXA} of the Marahoué have been better adjusted by the Gamma law, followed by the Weibull law finally comes the Log-normal law. The different flood thresholds were therefore assessed on the basis of the Gamma Law. It is the alert threshold (802 m³/s), the tolerance threshold (721.8 m³/s) and the crisis threshold (882.2 m³/s). These different thresholds constitute a flood alert system of floods from the Marahoué to Bouaflé.

KEYWORDS: Frequency analysis, Ivory Coast, Q_{MNA} , Marahoué (Bandama), flood alert thresholds.

RESUME: L'objectif de cette étude est de modéliser les débits moyens mensuels maximaux annuels (Q_{MXA}) afin de définir un système d'alertes de crues dans le bassin versant de la Marahoué (Bandama) (station de Bouaflé). Ainsi, la méthodologie employée est basée d'une part sur l'analyse fréquentielle des Q_{MXA} (1961-2017) et d'autre part, la détermination de seuils de crues permettant de donner des alertes précoces. Des lois usuelles ont été sélectionnées pour mener l'analyse fréquentielle. Il ressort de cette étude que les Q_{MXA} de la Marahoué ont été mieux ajustés par la loi Gamma, suivie de la loi Weibull enfin vient la loi Log-normale. Les différents seuils de crues ont donc été évalués à partir de la loi Gamma. Il s'agit du seuil d'alerte (802 m³/s), du seuil de tolérance (721,8 m³/s) et du seuil de crise (882,2 m³/s). Ces différents seuils constituent un système d'alertes de crues de la Marahoué à Bouaflé.

MOTS-CLEFS: Analyse fréquentielle, Côte d'Ivoire, Q_{MXA} , Marahoué (Bandama), seuils d'alertes de crue.

1 INTRODUCTION

Entre 1990 et 2010 en Afrique de l'Ouest, le changement climatique (CC) s'est manifesté par un réchauffement généralisé, une augmentation de l'intensité et de la fréquence des vagues de chaleur et des précipitations intenses [1]. Après 2010, 715

projets de réduction du risque hydro-climatique, d'adaptation et de résilience au CC, pour un montant de 7,3 milliards de dollars américains, ont été lancés dans les 17 pays de l'Afrique de l'Ouest [2]. La Côte d'Ivoire n'échappe pas à cette réalité. En effet, les inondations ont un impact considérable sur la population, touchant environ 60 000 personnes par an, soit 0,3% de la population totale du pays [3]. Au cours de l'année 2018, les inondations ont touché plus de huit (8) grandes villes sur le territoire, affectant plus de 10 mille personnes rien que dans les villes de Bouaflé et Zuenoula. Par ailleurs, les dommages dans la seule ville d'Abidjan ont été évalués à plus de 18 milliards de FCFA, et les besoins suite à ces inondations urbaines, s'élèvent à près de 200 milliards de francs CFA [4].

Au-delà des chiffres, l'expérience de la catastrophe constitue pour les riverains une épreuve marquée par le dénuement et la perte. Les sinistrés doivent parfois recourir à des hébergements de fortune où se trouvent destinataires de dons et d'aides d'urgence. La perte des objets personnels affecte en second lieu la mémoire des sinistrés pour qui la destruction des souvenirs peut provoquer des formes d'amnésie et rend plus difficile la transmission de la biographie familiale aux générations futures. De ce fait, les récentes inondations en Côte d'Ivoire (répartis sur l'ensemble du territoire) ont montré la nécessité d'anticiper le phénomène et d'essayer dans la mesure du possible de le prévoir. Ainsi, l'alerte des crues pourrait être déclenchée lorsque l'on observe ou que l'on prévoit le dépassement d'un seuil de pluie ou de débit, comme c'est le cas dans la présente étude.

L'objectif de cette étude est de modéliser les débits moyens mensuels maximaux annuels (Q_{MXA}) afin de définir un système d'alertes de crues dans le bassin versant de la Marahoué (Bandama). La méthodologie appliquée est basée sur l'analyse fréquentielle des Q_{MXA} collectés sur la période 1961-2017, afin d'identifier la meilleure loi statistique qui va servir de modèle de base à la détermination des seuils de crues.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le bassin versant de la Marahoué (Bandama rouge) est situé en Côte d'Ivoire entre les longitudes 5°5' et 7°1' Ouest et les latitudes 6°7' et 9°5' Nord (Fig. 1). Il a une superficie de 24300 km² (25% de la superficie totale du bassin versant du Bandama). La Marahoué est l'affluent rive droite le plus important du Bandama. Le cours d'eau principal, la Marahoué est encadré par deux affluents: le Béré à l'Est et le Yani ou Bahoroni à l'Ouest, il se jette dans le Bandama blanc à l'endroit où se trouve le village de Bozi, peu après la ville de Bouaflé.

Les régimes climatiques observés sur le bassin de la Marahoué sont le régime tropical de transition (climat soudanais) dans la partie nord et le régime équatorial de transition atténué (climat baouléen) dans la partie sud.

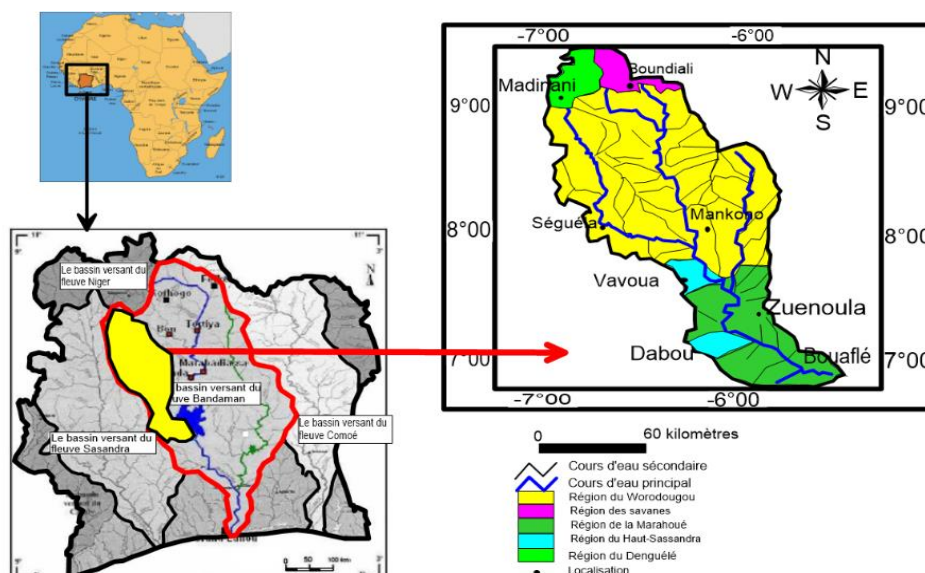


Fig. 1. Localisation géographique du bassin versant de la Marahoué (Bandama)

En effet, le climat soudanais (Boundiali) est caractérisé par des pluies annuelles généralement inférieures à 1200 mm. Il s'agit d'un régime unimodal à deux saisons. Une saison pluvieuse de sept (7) mois allant d'avril à octobre avec le pic en août et

une saison sèche qui va de novembre à mars, soit cinq (5) mois. Le trimestre le plus pluvieux est le JAS (juillet-août-septembre). Le climat baouléen (Bouaflé) est marqué par des pluies annuelles comprises entre 1200 et 1600 mm. C'est un régime climatique bimodal à deux saisons. Le pic le plus important est celui de septembre suivi de celui de juin. Ce régime est défini par une saison pluvieuse de huit (8) mois allant de mars à octobre et une saison sèche de quatre (4) mois qui va de novembre à février.

Le bassin de la Marahoué se caractérise par une végétation savannicole dans le Centre et une végétation préforestière dans la partie sud. Le relief du bassin est caractérisé des plateaux accidentés dans le Nord-Ouest (400 m). Plus au Sud, on a un ensemble assez homogène de plateaux (3 à 400 m) (Mankono-Séguéla). La région septentrionale est caractérisée par des reliefs isolés. Le bassin de la Marahoué est dominé par des sols ferralitiques. La géologie de la Marahoué fait partie intégrante du domaine Baoulé-Mossi appelé également domaine protérozoïque de la dorsale de Man. Il est situé à l'Est de la faille de Sassandra. Schématiquement, il se présente comme un ensemble de gneiss formant le socle des formations supracrustales d'origine volcanique, subvolcanique, et sédimentaire mises en place ou déposées au sein de nombreux sillons ou bassins intracratoniques, dans lesquels se sont mis en place les granites du cycle éburnéen. Ces éléments (végétation, relief, types de sol, etc.) définissent les conditions physiques de l'écoulement.

Le régime hydrologique du bassin est un régime simple avec un minimum en février et un maximum au mois de septembre. La période des basses eaux s'étant de décembre à juillet et la période des hautes eaux va du mois d'août au mois de novembre.

2.2 DONNEES

Les données hydrométriques ont été fournies par la Direction Générale des Infrastructures de l'Hydraulique Humaine (DGIHH), Sous-Direction de l'Hydrologie et s'étendent sur la période 1961-2017. La station étudiée est celle de Bouaflé. Cette station hydrométrique sélectionnée est représentative pour traduire de manière significative, le caractère climatique et physiographique du bassin versant de la Marahoué (Bandama). La modélisation conceptuelle à partir du modèle global GR2M a permis de simuler les données manquantes au sein de la série des débits mensuels. En effet, le modèle GR2M a été calé sur la période 1961-1990 et validé sur la période 1991-2000. Les valeurs de performance obtenues à partir du critère de Nash-Sutcliffe sont respectivement de 76% en calage et 70% en validation. Ce qui témoigne d'une bonne performance du modèle GR2M sur le bassin versant de la Marahoué. Ainsi, les modules calculés après comblement des lacunes, oscillent entre 2,89 m³/s et 151,57 m³/s avec une moyenne de 65,13 m³/s et un écart-type de 33,42 m³/s.

La variable descriptive du débit de crue choisi a été extraite à partir de la méthode d'échantillonnage par valeurs maximales qui a consisté à sélectionner sur une année donnée (de janvier à décembre), le débit moyen mensuel maximal annuel (Q_{MXA}). Le traitement des données pour cette étude a nécessité l'utilisation de logiciels tels qu'Excel 2016 pour la réalisation des calculs et graphes et Hyfran 1.1 (Hydrological Frequency Analysis) pour l'analyse fréquentielle des débits.

Les débits moyens mensuels maximaux annuels (Q_{MXA}) sont compris entre 12,2 et 716,7 m³/s avec une moyenne de 307,6 m³/s et un écart-type de 162,3 m³/s. Le coefficient d'asymétrie calculé est de 0,015. Ce résultat montre que les Q_{MXA} étudiés sont étalés à droite de la moyenne. Par ailleurs, 57% des Q_{MXA} sont au-dessus de la moyenne.

Les Q_{MXA} interviennent majoritairement au mois de septembre (70%), suivi du mois d'octobre qui enregistre près de 19%. Enfin, il est observé les Q_{MXA} parfois aux mois de novembre et d'août pour des taux de 4% chacun. Les plus hautes eaux sont donc observées au mois de septembre qui constitue donc un mois dangereux du point de vue hydrologique à cause des inondations.

La classe de Q_{MXA} la plus remarquable est celle des débits allant de 160 à 310 m³/s avec un taux de 30%. Cette classe constitue la classe modale. A côté de cette classe prédominante, on a la classe des Q_{MXA} de la fourchette [310; 460 [m³/s avec un taux de 28%. Ces deux classes sont suivies de la classe des Q_{MXA} les plus faibles avec un taux de 23%. Les Q_{MXA} les plus élevés appartiennent à l'intervalle [460; 760 [m³/s avec un taux de 20%. La classe médiane des Q_{MXA} est la classe [160-310 m³/s [. La classe médiane est donc confondue à la classe modale.

2.3 METHODES APPLIQUEES

L'approche méthodologique a consisté d'abord à vérifier un certain nombre d'hypothèses statistiques. Ces hypothèses s'inscrivent dans le contexte de l'analyse fréquentielle. Il s'agit des hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité des données. Ensuite, les différentes lois de distribution choisies ont été ajustées aux données de Q_{MXA} . Enfin, une évaluation de la validité des modèles adoptés a été réalisée. La loi de distribution qui s'ajuste au mieux aux débits a été retenue.

2.3.1 HYPOTHESES DE L'ANALYSE FREQUENTIELLE

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés, caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre), afin d'en définir les probabilités d'apparition future, autrement dit, estimer les probabilités d'occurrence du phénomène étudié. De ce fait, cette analyse fréquentielle passe en premier lieu par l'appréciation de la qualité des séries à posséder une fonction de distribution en utilisant les tests de stationnarité de Kendall, d'indépendance de Wald-Wolfowitz et d'homogénéité de Wilcoxon [5, 6]. Ces tests fonctionnent tous sur le même principe qui consiste à énoncer une hypothèse sur la population mère et à vérifier sur les observations constatées si celles-ci sont vraisemblables dans le cadre de cette hypothèse. L'hypothèse à tester est appelée H_0 (hypothèse nulle) et s'accompagne impérativement de son hypothèse alternative appelée H_1 . Le test s'attachera à valider ou à rejeter H_0 (et par conséquent à tirer la conclusion inverse pour H_0). Si le résultat du test amène à accepter l'hypothèse nulle H_0 , alors la probabilité que la répartition soit aléatoire est élevée. En revanche, le rejet de H_0 signifie que cette répartition des réponses recèle des informations qui ne semblent pas être aléatoires et qu'il convient d'approfondir l'analyse. Les résultats de ces tests d'hypothèses sont généralement présentés sous forme de couple (statistiques des tests, p-value). La p-value étant la probabilité au dépassement de la valeur calculée de la statistique du test que l'on compare ensuite avec le niveau de signification.

2.3.1.1 HYPOTHESE D'HOMOGENEITE (TEST DE WILCOXON)

Un échantillon aléatoire est dit « homogène » lorsque les données qui le constituent proviennent de la même distribution (prises dans les mêmes conditions). La vérification de cette hypothèse est fondée sur la comparaison des moyennes des débits obtenus avant et après la date de changement dans la procédure d'acquisition des données, lorsque cette dernière date de changement est connue.

2.3.1.2 HYPOTHESE DE STATIONNARITE (TEST DE KENDALL)

Les phénomènes étudiés sont dits "stationnaires" si les caractéristiques statistiques (moyenne, variance ou moments d'ordre supérieur) des séries de données qui les décrivent ne varient pas dans le temps. Le test de stationnarité de Kendall, qui est un test de corrélation sur le rang, permet de détecter les tendances dans les séries [7].

2.3.1.3 HYPOTHESE D'INDEPENDANCE (TEST DE WALD-WOLFOWITZ)

Même si les données d'une série sont aléatoires, elles ne sont pas nécessairement indépendantes. Un échantillon de données d'une série de débits est dit indépendant si l'intensité n'est pas influencée par celle observée l'année précédente [8].

2.3.2 CHOIX ET ESTIMATION DES PARAMETRES DES MODELES STATISTIQUES

Le choix du modèle fréquentiel influence fortement la validité des résultats de l'analyse fréquentielle. De manière générale, la détermination de la meilleure loi d'ajustement a toujours été délicate. Il est ainsi, impossible de répondre à la question, quelle est la véritable distribution dont les observations sont tirées. La vraie distribution des données pourrait se révéler extrêmement complexe et comporter plus de paramètres qu'un hydrologue ne peut espérer en estimer [9]. L'objectif est donc d'établir une approximation simple et pertinente de la distribution réelle des événements. Il s'agit de mettre au point des modalités pratiques qui, avec les données disponibles ou celles qu'il est possible de recueillir, fournissent une bonne approximation des relations de fréquence concernées. Le paragraphe suivant fournit un aperçu des lois utilisées dans le cadre de cette étude. Il s'agit notamment des lois utilisées au cours des travaux antérieurs et proposées par le logiciel HYFRAN [6, 8, 10, 11]. Il s'agit des lois suivantes:

- Loi Exponentielle;
- Loi Weibull;
- Loi Gamma;
- Loi Log-normale;
- Loi Pearson de type III.

2.3.3 CALCUL DES FREQUENCES EMPIRIQUES

En pratique, après avoir trié les débits en ordre décroissant, on associe à chacun des événements une fréquence empirique de probabilité au dépassement dont la forme générale peut être résumée par l'équation suivante qui garantit la symétrie autour de la médiane (équation 1):

$$P_m = \frac{m-\alpha}{n+1-2\alpha} \quad (1)$$

avec:

- P_m : Probabilité de dépassement de la même valeur;
- m : le rang qu'occupe la valeur;
- n : le nombre d'observation;
- α : constante qui peut prendre des valeurs comprises entre 0 et 0,5.

Le tableau 1 donne les valeurs de « α » les plus utilisées dans la pratique, et les formules de probabilité correspondantes. Ces formules correspondent à des cas particuliers de la formule générale. Pour les besoins de la présente étude, il a été adopté la formule de Hazen qui est un choix traditionnel réalisé par de nombreux auteurs en zone tropicale humide [12, 13, 14]. La formule de Hazen correspond à une probabilité empirique calculée avec une valeur de α égale à 0,5.

Tableau 1. Formules de probabilités empiriques utilisées dans la pratique

Noms	α	Formules
Weibull	0	$\frac{r}{n+1}$ (2)
Chegodayev	0,3	$\frac{r-0,3}{n+0,4}$ (3)
Cunnane	0,4	$\frac{r-0,4}{n+0,2}$ (4)
Hazen	0,5	$\frac{r-0,5}{n}$ (5)

2.3.4 SELECTION DES MEILLEURS AJUSTEMENTS

En hydrologie, la complexité de la sélection du meilleur ajustement réside dans le fait qu'on souhaite prédire des quantiles pour des périodes de retour élevées pour lesquelles nous ne disposons pas forcément de données en nombre suffisant [8]. Ainsi, différentes procédures ont été retenues permettant de comparer des ajustements de lois de probabilité et de sélectionner celles qui s'ajustent au mieux aux données. D'abord l'examen visuel des graphiques d'ajustement. En effet, même s'il peut paraître rudimentaire, il reste un bon moyen pour juger de la qualité d'un ajustement et devrait toujours constituer un préambule à tout test statistique. Selon Meylan *et al.* [15], la méthode dite « graphique » reste indispensable. Ensuite, le test d'adéquation du Khi-deux a été adopté, en tant que test le plus ancien et le plus puissant. Enfin, le critère d'information bayésien (BIC) proposé par Schwarz (1978) et le critère d'information d'Akaike (AIC) [16], représentent les méthodes les plus connues, et ont été utilisées dans le cadre de la présente étude pour s'assurer qu'une distribution de probabilité spécifiée représente bien les données.

2.3.4.1 CONTROLE VISUEL DE L'AJUSTEMENT

La méthode graphique est la façon la plus efficace pour visualiser la série de données et vérifier si les distributions ajustées apparaissent en accord avec les données. En effet, l'ajustement graphique, bien qu'étant une méthode approximative, constitue un aspect essentiel du jugement porté sur l'adéquation entre la loi choisie et les données traitées, quelle que soit la méthode d'ajustement utilisée. Le contrôle visuel de l'ajustement n'est pas un test au sens statistique du terme. Il s'agit d'un outil d'aide à la décision [11]. Il suit les étapes suivantes:

- Calculer des fréquences expérimentales de chaque valeur;
- Positionner les points expérimentaux sur un papier à probabilité;
- Tracer la courbe d'ajustement correspondant au modèle comparé à travers le nuage de points;
- Visualiser et distinguer le meilleur modèle d'ajustement.

La méthode graphique présente l'avantage d'être facile d'utilisation. Néanmoins, si un seul point parmi les données est fortement décalé par rapport aux autres, il est difficile de juger le poids à donner à ce point. Dans ce cas, des méthodes statistiques rigoureuses doivent être utilisées.

2.3.4.2 TEST DE KHI DEUX

Le test de χ^2 est appliqué pour vérifier l'ajustement d'un échantillon à une loi théorique. Ce test est couramment utilisé, malgré le fait qu'il permet un ajustement à une loi théorique mais ne permet pas la comparaison de deux ajustements [11]. La procédure d'application du test de Khi-deux se présente comme suit. Soit un échantillon de « n » valeurs classées par ordre croissant (ou décroissant) et pour lequel une loi de répartition $F(x)$ a été déterminée; on divise cet échantillon en un certain nombre « k » de classes contenant chacune « n_i » valeurs expérimentales. Le nombre « v_i » est le nombre théorique de valeurs affectées à la classe i par la loi de répartition. Ce nombre v_i est donné par (équation 6):

$$v_i = n \int_{x_{i+1}}^{x_i} f(x) dx = n[F(x_i) - F(x_{i+1})] \quad (6)$$

Avec: $f(x)$ la fonction densité de probabilité correspondant à la loi théorique.

L'expression de χ^2 expérimental est présentée comme suit (équation 7):

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_i - v_i)^2}{v_i} \quad (7)$$

La probabilité de dépassement correspondant au nombre de degré de liberté λ est ainsi déterminée (avec $\lambda = k - 1 - n_p$, n_p étant le nombre de paramètres de la loi $F(x)$). Si cette probabilité est supérieure à 0,05, l'ajustement est satisfaisant. Dans le cas contraire, il y a rejet de la loi. Ce test prouve l'adéquation entre l'ajustement et les données mais ne permet pas de tirer une conclusion sur le choix de la meilleure loi.

2.3.4.3 CRITERES D'INFORMATION D'AKAIKE (AIC) ET BAYESIEN (BIC)

La valeur du critère d'Akaike et du bayésien pour une loi de probabilité donnée, ajustée à un échantillon « x » de taille « n » est basée sur un calcul de la log-vraisemblance maximisée [11]. Ainsi, pour évaluer la qualité d'un modèle ajuste, Akaike (1974) a défini un critère d'information qui porte son nom (AIC pour Akaike Information Criterion). Ce critère, qui peut être adapté à divers contextes, vise à réduire au minimum la mesure d'une information. Il est défini sous la forme suivante [6, 9, 13, 16] (équation 8):

$$AIC(f) = -2 \log L(\hat{\theta}, x) + 2k \quad (8)$$

Avec :

- $L(\hat{\theta}, x)$: la fonction de vraisemblance ;
- k : le nombre de paramètres.

Le modèle qui rend le mieux compte des données avec le moins de paramètres est celui pour lequel le critère d'information d'Akaike a une valeur minimale. Toutefois, à lui seul, le critère d'information d'Akaike ne permet pas de choisir un modèle. Il est donc employé conjointement avec le critère d'information bayésien (en anglais BIC). Le BIC représente une généralisation bayésienne de la notion de critère d'information d'Akaike minimal. Le critère d'information bayésien BIC a pour objectif de sélectionner le modèle « M » qui maximise la probabilité a posteriori. La formule permettant le calcul du critère BIC est [6, 9, 13, 16] (équation 9):

$$BIC(f) = -2 \log L(\hat{\theta}, x) + k \log(n) \quad (9)$$

Avec:

- $L(\hat{\theta}, x)$: la fonction de vraisemblance;
- k : le nombre de paramètres;
- n la taille de l'échantillon.

Le critère d'information bayésien est également un critère de parcimonie. De tous les modèles, celui pour lequel le critère d'information bayésien a une valeur minimale est considéré comme le meilleur.

2.3.5 DETERMINATION DES QUANTILES

Les séries intégrées dans une procédure d'analyse fréquentielle, comme abordé ci-dessus permettent d'estimer un quantile de période de retour donné à partir d'une loi statistique ajustée sur les observations. La détermination des quantiles a été effectuée à partir de l'approche analytique dont le fondement mathématique se présente comme suit (équation 10):

$$x(F) = x_0 + S \times u(F) \quad (10)$$

Avec:

- x_0 : la moyenne arithmétique;
- S : l'écart-type de l'échantillon considéré;
- u : variable réduite de la loi considérée.

x_0 et S étant connus, on calcule $x(F_i)$, qui est le quantile recherché pour une fréquence de non dépassement donnée F_i . Après avoir déterminé le quantile relatif à une fréquence donnée, il faut connaître l'intervalle de confiance de ce quantile, c'est-à-dire la gamme de valeurs qui devrait contenir ce quantile. L'intervalle de confiance autour d'un quantile quelconque n'est estimé en pratique que lorsque l'effectif de l'échantillon est suffisamment important pour que les moyennes et les écarts types empiriques suivent sensiblement des lois normales indépendantes ($n > 30$).

2.3.6 CARACTERISATION DES PERIODES DE RETOUR

La loi identifiée comme ajustant le mieux les débits de crues a été appliquée aux débits de crues mensuels pour caractériser les périodes de retour des événements extrêmes. Le but étant de vérifier si les épisodes de crues à la source d'inondations recensées peuvent être qualifiés d'événements extrêmes ou non. Selon Hangnon *et al.* [17], la période de retour (ou temps de retour) caractérise le temps statistique entre deux occurrences d'un événement naturel d'une intensité donnée. Ce terme est très utilisé pour caractériser les risques naturels. La période de retour d'un événement est définie comme étant l'inverse de la probabilité annuelle de dépassement de cet événement [18] (Equation 11):

$$T = 1 / (1 - F) \quad (11)$$

Avec:

- T : période de retour (année);
- F : fréquence de non dépassement.

Un événement extrêmes est qualifié de très exceptionnel si sa période de retour est au-delà de 100 ans; d'exceptionnel si la période de retour est située dans l'intervalle de 30 à 100 ans; de très anormal si la période de retour est comprise entre 10 à 30 ans; d'anormal si la période de retour est située entre 6 à 10 ans et de normal si la période de retour est à moins de six ans [17].

2.3.7 DETERMINATION DES SEUILS DE CRUES

La crue de référence prise en compte est celle définie par une loi française selon la circulaire du 24 janvier 1994 qui précise que l'événement de référence à retenir pour le zonage est, conventionnellement, la plus forte crue connue et, dans le cas où celle-ci serait plus faible qu'une crue de fréquence centennale, cette dernière. De nombreux travaux se sont appuyés sur cette méthodologie de détermination des débits de crues de référence [19-20].

Ce choix répond à la volonté de:

- Se référer à des événements qui se sont déjà produits, qui sont donc non contestables;
- Privilégier la mise en sécurité de la population en retenant des crues de fréquences rares ou exceptionnelles.

Selon Meddi *et al.* [21], les études de l'aléa d'inondation nécessitent pour une modélisation, l'estimation des débits extrêmes de crue. De même, dans des cas de dimensionnement des déversoirs de sécurité des barrages hydroélectriques ou encore la délimitation des zones inondables, il est nécessaire de proposer des scénarios de prévision des crues et les périodes de retour nettement supérieures à la durée d'observation des débits sur le site étudié.

Cependant, les seuils définissant les venues d'eau particulièrement dangereuses sont laissés à l'appréciation du gestionnaire et des bureaux d'étude [22]. De même, ce choix est repris par le guide de prévision et anticipation des crues et des inondations du Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation (CEPRI) en ces termes: les seuils en termes de hauteur d'eau et/ou de débit au droit des stations du réseau correspondant au passage de niveau de vigilance ne sont pas figés et peuvent évoluer au fur et à mesure de l'amélioration de la connaissance des phénomènes de crues des cours d'eau. Par ailleurs, selon Kouadio [23], les services étudiant l'aléa crues en vue d'une caractérisation hydrométéorologique des phénomènes sont confrontés à de nombreuses incertitudes notamment la difficulté de maîtriser les seuils de déclenchement des alertes.

Dans le cadre de cette étude, la détermination des débits seuils repose sur les propositions suivantes:

- Le seuil de vigilance correspond à 90% du débit de référence;
- Le seuil de crise qui correspond à 110% du débit de référence.

Les différents seuils sont présentés dans les plages de couleurs communément utilisés: jaune pour les risques faibles d'inondation (inondation possible dans les sites à très forts risques); orange pour les risques moyen d'inondation (inondation très probable) et rouge pour les risque élevé d'inondation (inondation imminente) [24].

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 VERIFICATION DES TESTS D'HYPOTHESES

Les tests d'hypothèses d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité ont été vérifiés au niveau des données de Q_{MXA} de la station de Bouaflé. Les résultats de ces tests sont présentés dans le tableau 2. Il en ressort que l'hypothèse H_0 du test d'homogénéité (Wilcoxon) a été rejeté au niveau de signification de 1%. On pourrait conclure alors que les données de Q_{MXA} ne sont pas homogènes.

L'hypothèse H_0 du test de stationnarité (Kendall) a également été rejetée au niveau de signification de 1%. Les Q_{MXA} au niveau de la station de Bouaflé ne sont donc pas stationnaires avec une autocorrélation d'ordre 1. Quant au test d'indépendance (Wald-Wolfowitz), le seuil étant inférieur à 1%, on peut conclure que les Q_{MXA} sont autocorrélés.

Tableau 2. Résultats des tests d'hypothèses

Test d'homogénéité		Test de stationnarité		Test d'indépendance	
W	P	K	P	U	P
3,59	$3,31.10^{-4}$	5,06	$4,32.10^{-7}$	3,90	$9,75.10^{-5}$

3.2 AJUSTEMENT DES DEBITS DE CRUES

Les résultats d'ajustement des données de Q_{MXA} de la station de Bouaflé à partir des différents modèles retenus sont illustrés à la fig. 2. L'examen de cette figure montre que les données de Q_{MXA} intègrent l'intervalle de confiance des lois Weibull et Gamma. Ces lois présentent donc un bon ajustement graphique. La courbe de la loi Weibull est encadrée par celles de la loi Gamma (au-dessus) et la loi Pearson type III. Par ailleurs, les lois Exponentielle et Log-normale s'écartent grossièrement des données de Q_{MXA} . Au regard de la difficulté à choisir la meilleure loi, des tests numériques de vérification de l'adéquation des ajustements ont été appliqués pour mieux apprécier leur relative qualité.

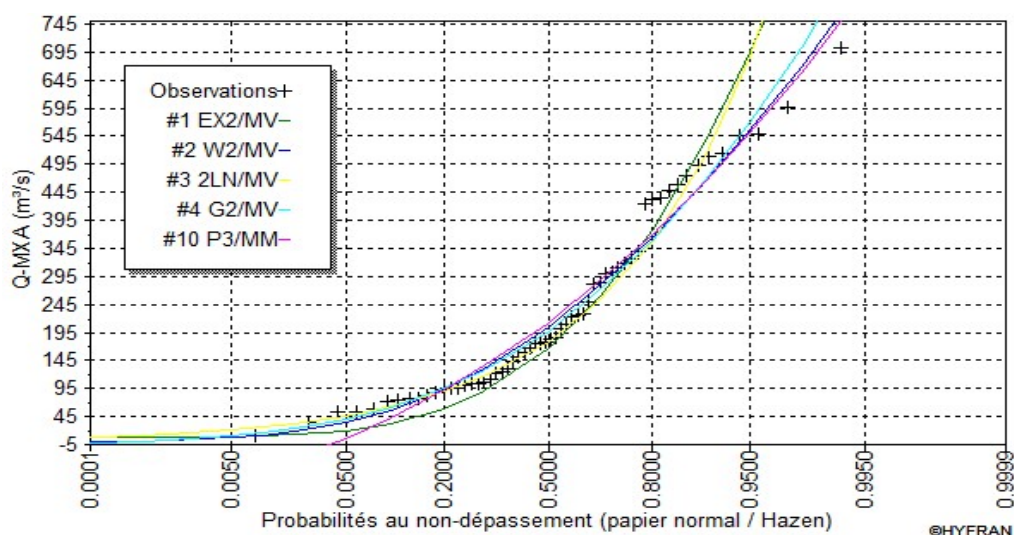


Fig. 2. Comparaison de l'ajustement des Q_{MXA} de la station hydrométrique de Bouaflé

Les résultats du test de Khi-deux appliqués sont consignés dans le tableau 3. L'application de ce test s'est révélée concluante pour la totalité des lois d'ajustement. En effet, pour toutes les lois, l'hypothèse H_0 a été acceptée au niveau de signification de 5%. De ce fait, ce test ne permet pas de trancher sur le choix de la meilleure loi d'ajustement. D'où la nécessité de recourir aux critères d'Akaike et bayésien.

Tableau 3. Test de χ^2 appliqué aux Q_{MXA}

Loi Exponentielle		Loi Weibull		Loi Gamma		Loi Log-normale		Loi Pearson de type III	
χ^2	P	χ^2	P	χ^2	p	χ^2	p	χ^2	p
9,93	0,19	8,90	0,26	4,76	0,69	4,07	0,77	12,00	0,06

Les résultats obtenus suite à l'application des critères d'Akaike et Bayésien sont consignés dans le tableau 4. Pour un même critère donné, les valeurs diffèrent en passant d'une loi à une autre. Les deux critères choisissent la même loi comme étant la meilleure. Ainsi, la loi Gamma a les valeurs les plus faibles, suivie des lois Weibull, Log-normale, Exponentielle et Pearson de type III. Étant donné que la meilleure loi est celle qui présente les plus faibles valeurs des critères d'Akaike et bayésien, le meilleur modèle adapté à la série des Q_{MXA} est la loi Gamma. Il est suivi de près par le modèle Weibull. Enfin, vient le modèle Pearson de type III.

Tableau 4. Critères AIC et BIC appliqués aux lois de probabilité

Lois de probabilité	AIC	BIC
Exponentielle	750,32	754,44
Log-normale	745,74	749,86
Weibull	742,93	747,05
Gamma	742,35	746,47
Pearson de type III	752,69	758,87

3.3 CARACTERISATION DES PERIODES DE RETOUR

Les périodes de retour évaluées oscillent entre 1 et 114 ans avec une moyenne de six ans (Tableau 5). La majorité des débits de crues annuels étudiés est rangée au titre des événements de type normal (82,5%) avec un intervalle compris entre 12,2 m³/s et 432 m³/s. Les débits de type anormal (436-474 m³/s) et de type très anormal (494-548 m³/s) représentent respectivement 7% des Q_{MXA} . Au niveau des événements exceptionnel et très exceptionnel, il a été obtenu respectivement des débits de 597 m³/s (1971) et 701 m³/s (1964).

Tableau 5. Fréquences de retour des débits de crues (1961-2017)

Type d'évènement	Fréquence d'apparition	Pourcentage (%)	Crues (m ³ /s)
Normal	47	82,5	12,2-432
Anormal	4	7,0	436-474
Très anormal	4	7,0	494-548
Exceptionnel	1	1,8	597
Très exceptionnel	1	1,8	701

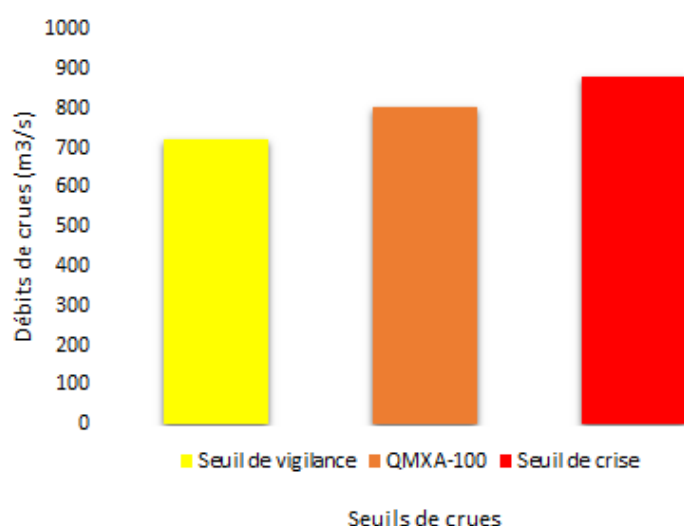
3.4 DETERMINATION DES SEUILS DE CRUE

Les quantiles des débits de crues évalués à partir des différentes lois et leurs intervalles de confiances sont présentés dans le tableau 6 à travers six (6) périodes de retour (2 ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans). Ces différents quantiles vont de 802 (T=100 ans) à 197 m³/s (T=2 ans).

Tableau 6. Quantiles (X_T) et intervalles de confiance des Q_{MXA} de la Marahoué (Bouaflé)

Durée de retour (ans)	Débit (m ³ /s)	Intervalle de confiance (95%)
100	802	611-993
50	704	542-865
20	570	448-693
10	466	372-560
5	357	289-425
2	197	159-236

La crue mensuelle historique documentée est celle de septembre 1964 avec une valeur de 701 m³/s. Cette valeur étant inférieure au débit de crue modélisée pour une occurrence centennale (802 m³/s), la crue de référence retenue est donc $Q_{MXA-100}$ (802 m³/s). Ainsi, les seuils de crue à la station de Bouaflé (débit de référence: $Q_{MXA-100}$, les seuils de vigilance et de crise) ont été déterminés à partir de cette valeur. Le seuil de vigilance évalué est de 721,8 m³/s et le seuil de crise calculé est de 882,2 m³/s (Fig. 3).

Fig. 3. Seuils de crue en rapport avec les $Q_{MXA-100}$ à la station hydrométrique de Bouaflé

3.5 DISCUSSION

L'hypothèse H_0 relatif aux tests d'indépendance de Wald-Wolfowitz, d'homogénéité de Wilcoxon et de stationnarité de Kendall, a été rejetée au niveau de signification de 1%. Ainsi, les données utilisées ne sont pas indépendantes, homogènes et stationnaires. Des résultats similaires ont été obtenus par d'autres auteurs tels que Kouider [8]. En effet, son étude a porté sur l'analyse fréquentielle des crues au Québec. Les résultats ont montré que les tests d'hypothèses de stationnarité et d'indépendance des données étudiées concernant les crues saisonnières (été, automne et printemps) et annuelles, ont été rejetés pour 14 stations à un niveau de signification de 1%. En ce qui concerne les résultats du test d'homogénéité de Wilcoxon, pour l'ensemble des regroupements des stations retenues dans le cadre de son travail, il est observé que trois regroupements ont des données qui sont rejetées par ce test à un niveau de signification de 1%. Toutefois, les séries de données extraites à partir de ces stations, bien qu'elles ne respectent pas les hypothèses de base sur lesquelles repose l'analyse fréquentielle, ont fait l'objet d'ajustement statistique. Au niveau du Bénin, l'étude menée par Koumassi *et al.* [25] présente des résultats semblables. En effet, l'objectif de l'étude menée par l'auteur, était de réaliser une analyse fréquentielle des phénomènes hydro-pluviométriques dans le bassin de la Sota. Les résultats des tests d'hypothèses ont montré que sur la station de Kalalé, les séries pluviométriques sont non indépendantes, non homogènes et non stationnaires. Cependant, l'analyse fréquentielle a été réalisée. En effet, malgré le fait que la série étudiée ne répond pas favorablement aux tests d'indépendance, de stationnarité et d'homogénéité, mais présente une corrélation minimale d'une année à l'autre, l'incidence sur l'analyse des quantiles de crue estimés est relativement faible [9].

Ainsi, les résultats obtenus mettent en évidence la supériorité de la loi Gamma comme la loi qui ajuste au mieux les Q_{MXA} dans le bassin de la Marahoué à Bouaflé. Elle est suivie par la loi de Weibull et vient en troisième position la loi Log-normale.

Les résultats de l'analyse fréquentielle obtenus dans cette étude se rapprochent des travaux de plusieurs auteurs tels que Riad [9], Meddi *et al.* [21], Beliveau [26], etc. En effet, dans son étude menée sur l'analyse fréquentielle de la pointe, du volume et de la durée de la crue sur quatre bassins versants Québécois (Ashuapmushuan, Batiscan, Harricana et Romaine), Beliveau [26] a eu recours à des séries d'observations journalières de débit. Un graphique superposant les probabilités empiriques et théoriques des distributions gamma, normale, GEV, Pearson type III et log-Pearson type III a été réalisé. Le choix graphique de la loi qui ajuste le mieux les observations extrêmes s'est porté sur la loi Gamma. De même, les critères BIC et AIC de la loi Gamma, ont affiché les valeurs minimums comparativement aux autres lois. Meddi *et al.* [21] au cours de leurs travaux portant sur l'analyse statistique et la prévision des débits de crues dans le bassin versant de l'Oued Mekerra (Algérie), se sont appuyés sur des séries de débits maximaux annuels de trois stations de mesure à savoir: Haçaiba (938 km²), Sidi Ali Benyoub (1871 km²) et Sidi Bel Abbès (3000 km²). Le choix de l'auteur s'est porté sur la méthode des maxima annuels. Ainsi, il ressort des ajustements effectués que la loi Gamma donne le meilleur résultat pour les trois stations. En outre, les résultats obtenus au cours de ce travail sont en concordance avec ceux de Riad [27]. Poussé par la nécessité d'établir des systèmes performants de prévention et d'évacuation rapide de la population par l'installation d'infrastructures appropriées et systèmes d'alertes en cas de prévision de phénomènes catastrophiques naturels, l'auteur réalise une analyse hydrologique des eaux superficielles sous climat semi-aride au Maroc. Les séries des débits maximums annuels ont été employées pour l'analyse des crues par ajustement à des lois statistiques. Les ajustements effectués aboutissent à des résultats satisfaisants. L'oued Ourika à la station d'Aghbalou présente des débits plus irréguliers avec un coefficient de variation très élevé (1,28), ce qui permet d'expliquer le recours à la loi Log-Normale. Les échantillons des données de débit de crue analysés à partir de plusieurs autres bassins versants (Ansegmir, Fom Tillicht et Ait Bouijjane) ont montré que la loi Gamma se présente comme la meilleure loi qui ajuste ces différentes données. Selon Kharroubi [28], plusieurs recherches américaines préfèrent la loi Gamma.

Plusieurs auteurs sont parvenus à des conclusions qui diffèrent de celles obtenues au cours de nos travaux. Ainsi, selon Kharroubi [28], les écoles anglaises préfèrent l'utilisation des lois de Gumbel, de Weibull et les lois log-Pearson III. Kouider [8] abonde dans le même sens que les auteurs précédents. Pour lui, plusieurs hydrologues considèrent la loi Log-normale comme étant une des distributions les plus appropriées pour l'analyse fréquentielle des débits de crues. Les travaux de Koumassi *et al.* [25] ont porté sur l'analyse fréquentielle des débits moyens journaliers maximaux des stations de Couberi et de Gbassè sur la période 1965-2008 dans le bassin versant de la Sota au Bénin. Il ressort de l'ajustement des séries constituées à cet effet que les débits de pointe s'ajustent bien aux lois de Gumbel et de Log-Pearson III avec une marge d'erreur de 1 à 5 %. Cependant, c'est la loi de Gumbel qui est celle qui a été retenue pour estimer les quantiles des débits maximaux pour différentes périodes de retour (2 à 200 ans) et leurs intervalles de confiance.

Il ressort de cette analyse comparative qu'aucun modèle ne peut être considéré comme supérieur aux autres pour l'ensemble des applications. Par ailleurs, les résultats obtenus ainsi que leur confrontation aux travaux antérieurs montrent que le choix de la meilleure loi n'est pas toujours aisé. A cet effet, Miquel (1984) cité par Gailliez [11], explique que lorsque plusieurs lois sont plausibles, les critères de jugement suivants peuvent être employés:

- La loi ayant le moins de paramètres est privilégiée si les ajustements sont de qualité similaire;
- A nombre de paramètres égal, l'estimation des deux lois est comparée:
- Si elles sont très voisines, la loi la plus simple pour les calculs futurs est retenue;
- Si elles sont nettement différentes, une nouvelle loi doit être trouvée quitte à prendre un paramètre supplémentaire;
- Une loi à 1 ou 2 paramètres sera toujours préférée sauf si la qualité d'ajustement d'une loi à 3 paramètres est nettement supérieure à celle des lois à 2 paramètres.

De nombreux auteurs [10, 29, 30, 31] ont dû renoncer aux choix des données de débit comme variables de définition de systèmes d'alertes de crue. En effet, bien que reconnaissant la qualité des résultats issus de l'analyse fréquentielle pour la détermination des quantiles et seuils d'alerte des aléas liés aux inondations à partir de données de débit, de nombreuses études compte tenu de la nécessité de disposer de longues séries d'observations de débits, ont été contraintes d'utiliser des données de pluviométrie plus disponibles.

Les seuils de crues déterminés constituent un système d'alertes de crues afin de donner des alertes précoces aux populations pour une gestion durable des inondations dans le bassin versant de la Marahoué (Bandama) en Côte d'Ivoire.

4 CONCLUSION

L'objectif de cette étude est de modéliser les débits moyens mensuels maximaux annuels (Q_{MXA}) afin de définir un système d'alertes de crues dans le bassin versant de la Marahoué (Bandama). Cinq lois de distribution ont été retenues pour la modélisation statistique des crues (la loi Gamma, la loi Weibull, la loi Exponentielle, la loi Log-normale, la loi Pearson de type). Elles ont été ajustées aux Q_{MXA} de la période 1961-2017. Les principaux résultats obtenus ont montré que les Q_{MXA} de la Marahoué (Bandama) suivent préférentiellement la loi Gamma qui représente le modèle statistique qui ajuste au mieux ces données. Il est suivi par la loi Weibull et en troisième position vient la loi Pearson de type III. Ainsi, la loi Gamma a été utilisée pour la définition du système d'alertes précoces des crues dans le bassin versant de la Marahoué (Bandama) à travers la détermination des seuils d'alerte (802 m³/s), de vigilance (722 m³/s) et de crise (882 m³/s). Les seuils de crues déterminés constituent un système d'alertes de crues afin de donner des alertes précoces aux populations pour une gestion durable des inondations dans le bassin versant de la Marahoué en Côte d'Ivoire. Il s'agit donc de gagner en capacité d'anticipation pour gérer les crises provoquées par les inondations et d'assurer aux services de l'Etat et aux collectivités un délai suffisant à la mise en application de plans de secours dans le bassin versant de la Marahoué (Bandama). Cette approche peut être appliquée sur les autres cours d'eau de la Côte d'Ivoire afin de constituer un véritable système d'alertes hydrologiques pour la gestion des cours d'eau ivoiriens.

REMERCIEMENTS

Les auteurs de cet article remercient les instructeurs dont les critiques et les suggestions ont permis d'améliorer le présent article. Ils remercient également la Direction Générale des Infrastructures de l'Hydraulique Humaine (DGIHH), Sous-Direction de l'Hydrologie pour leur avoir fourni les données de débits utilisées dans cette étude.

REFERENCES

- [1] GIEC, « Bilan 2007 des changements climatiques. », Contribution des Groupes de travail I, II et III au 4e Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A.]. GIEC, Genève, Suisse, 103 p., 2007.
- [2] O.E.C.D. (2010). « Glossaire des principaux termes relatifs à l'évaluation et la gestion axée sur les résultats. », 2010.
- [3] CIMA, UNISDR, « Profil de Risque de Catastrophe en Côte d'Ivoire », 24p., 2018.
- [4] Agence Ivoirienne de Presse (AIP). Site web www.aip.ci, 2018.
- [5] Habibi B., Meddia M., Boucefiane A., « Analyse fréquentielle des pluies journalières maximales: Cas du Bassin-Chergui. », Revue Nature & Technologie, Sciences de l'Environnement, n° 08, pp.41-48, 2013.
- [6] Agué A.I., Afouda A., « Analyse fréquentielle et nouvelle cartographie des maxima annuels de pluies journalières au Bénin. », International Journal of Biological and Chemical Sciences, vol.9, n°1, pp.121-133, 2015.
- [7] Yue S., Pilon P., « A comparison of the power of the t-test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend-detection. », Hydrological Sciences Journal, vol.49, n°1, pp.21-37, 2004.
- [8] Kouider A., « Analyse fréquentielle locale des crues au Québec (Canada). » Mémoire de Maîtrise, Université du Québec, INRS, ETE, 66p., 2003.

- [9] OMM (ORGANISATION MÉTÉOROLOGIQUE MONDIALE), « Guide d'utilisation de l'indice de précipitations normalisé. », Temps-Climat-Eau, n°1090, 2012.
- [10] Lang C., « Etiages et tarissements: vers quelles modélisations ? L'approche conceptuelle et l'analyse statistique en réponse à la diversité spatiale des écoulements en étiage des cours d'eau de l'Est français. », Thèse d'hydrologie, Université de Metz France, 375p., 2007.
- [11] Gailliez S., « Estimation des débits d'étiage pour des sites non jaugés. Application en région Wallonne. » Dissertation originale présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en sciences agronomiques et ingénierie biologique; Université de Liège -Gembloux Agro-Bio-Technique, 271 p., 2013.
- [12] Benkhaled A., « Distributions statistiques des pluies maximales annuelles dans la région du Cheliff comparaison des techniques et des résultats », Courrier du Savoir, n°08, pp.83-91, 2007.
- [13] Goula A.B.T., Soro G., Dao A., Kouassi W.F., Srohourou B., « Frequency analysis and new cartography of extremes daily rainfall events in Côte d'Ivoire. », Journal of Applied Sciences, vol. 10, n° 16, pp.1684-1694, 2010.
- [14] Soro G., « Modélisation statistique des pluies extrêmes en Côte d'Ivoire. » Thèse de Doctorat de l'Université Nanguig-Abrogoua, Sciences et Gestion de l'Environnement, 193p., 2011.
- [15] Meylan P., Favre A.C, Musy A., « Hydrologies fréquentielle. Une science prédictive. » Presses polytechniques et universitaires romandes. Lausanne, 2008.
- [16] Kouassi A.M., Nassa R.A.K., Koffi Y.B., Kouamé K.F., Biémi J., « Modélisation statistique des pluies maximales annuelles dans le District d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire). », Revue des Sciences de l'Eau, n°31, pp.147-160, 2018.
- [17] Hangnon H., De Longueville F., Ozer P., « Précipitations extrêmes et inondations à Ouagadougou: quand le développement urbain est mal maîtrisé. », XXVIII Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège, Actes, pp. 497-502, 2015.
- [18] Mohymont B., Demarée R.G., « Courbes intensité-durée-fréquence des précipitations à Yangambi, Congo, au moyen de différents modèles de type Montana. », Hydrol. Sci. J., n°51, pp.239-253, 2006.
- [19] Bravard J.P., Clemens A., « Le Rhône en 100 questions. Les crues et inondations du Rhône. », Zone Atelier Bassin du Rhône, 41p., 2006.
- [20] Benmansour N., « Etude de crues et localisation des zones inondables. Mémoire pour obtenir magister en sciences agronomiques. », Ecole Nationale Supérieure Agronomique El Harrach Alger, 146p., 2009.
- [21] Meddi M., Sadeuk B.A., « Analyse statistique et prévision des débits de crues dans le bassin versant de l'Oued Makerra (Ouest de l'Algérie). », Revue Nature & Technologie, série C- Sciences de l'Environnement, n°10, pp.21-31, 2007.
- [22] CEREMA, « Étude de dangers de systèmes d'endiguement-Concepts et principes de réalisation des études. ». Cerema, Bron, Collection Références, 62p., 2018.
- [23] Kouadio J.S., « Les technologies smartphone comme outils d'aide à l'alerte face aux crues rapides en France-Expérimentations dans le Vaucluse et le Var. », Thèse de Doctorat de l'Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 271p., 2016.
- [24] SODEXAM, « Bulletin de risque d'inondation à Abidjan », n° 02, 2018.
- [25] Koumassi D.H., Tchibozo A.E., Vissin E., Houssou C., « Analyse fréquentielle des événements hydro-pluviométriques extrêmes dans le bassin de la Sota au Bénin », Afrique Science, Vol.10, n°2, pp.137-148, 2014.
- [26] Béliveau J., « Analyse fréquentielle multivariée de la pointe, du volume et de la durée de la crue », Mémoire présenté pour l'obtention du grade de Maître ès sciences (M.Sc.). Faculté des Sciences et de Génie Université Laval, Québec, 60p., 2006.
- [27] Riad S., « Typologie et analyse hydrologique des eaux superficielles à partir de quelques bassins versants représentatifs du Maroc », Thèse en cotutelle Université des sciences et technologies de Lille & Université Ibnou Zohr d'Agadir, Spécialité hydrologie de surface, 154p., 2003.
- [28] Kharroubi O., « Prévision des crues par modèle de réseau de neurones artificiels: application au bassin versant de l'Eure », Thèse de l'Université Lille1-Sciences et technologies, 211p., 2013.
- [29] Abdeldjalil C., « Gestion de crue dans un bassin versant-Etude hydrologique, hydraulique et aménagement », Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister en hydraulique. Université Aboubakr Belkaid – Tlemcen, Algérie, 135p., 2010.
- [30] Gbaguidi T.B., «Système d'informations et représentations cartographiques pour la gestion des inondations à Cotonou.», Mémoire pour l'obtention du master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE), 108p., 2010.
- [31] Lang C., « Les étiages: Définitions hydrologique, statistique et seuils réglementaires ». Cybergeo: European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage, mis en ligne le 30 Novembre 2011.
URL: <http://journals.openedition.org/cybeo/24827>, 2011.

