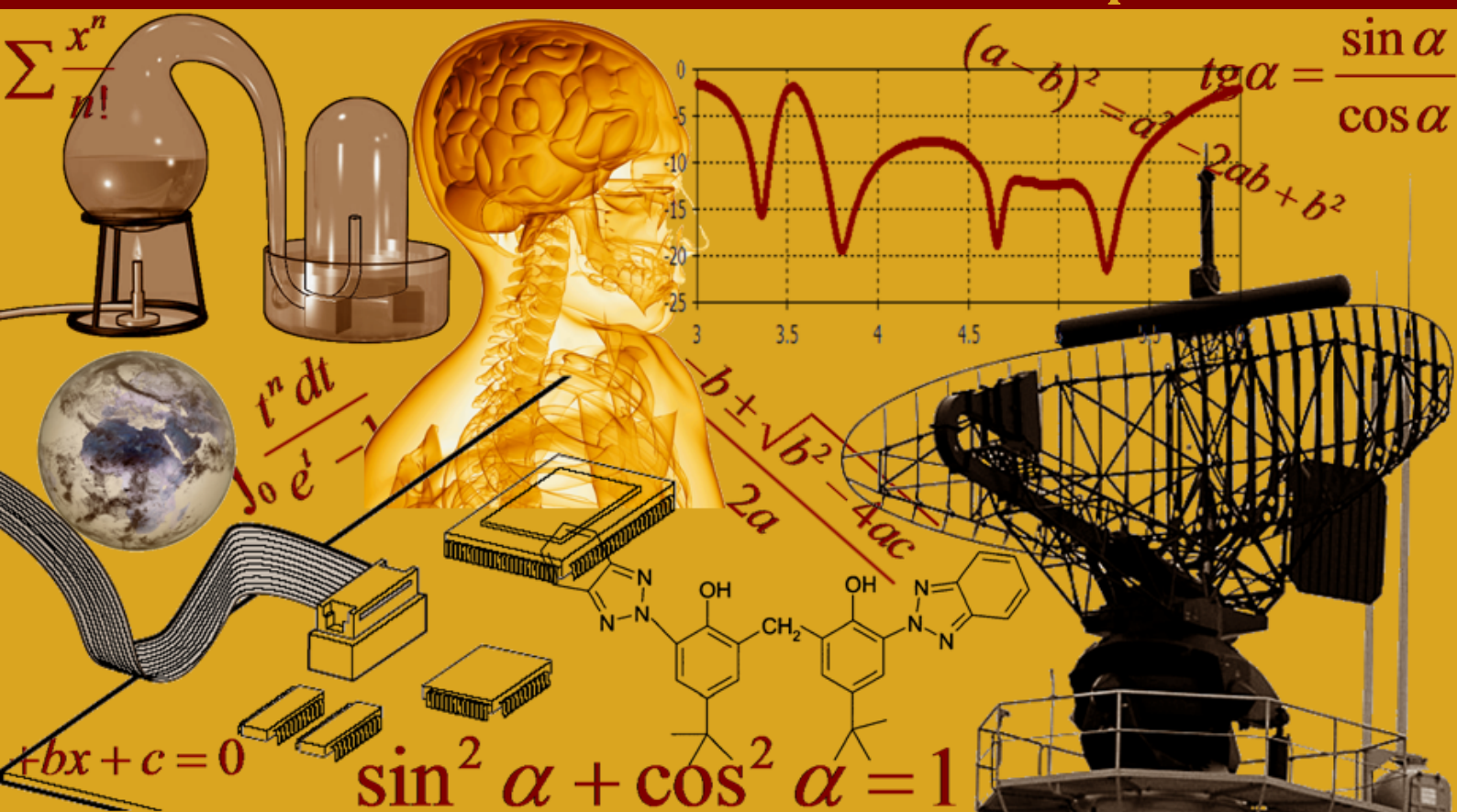


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

Vol. 44 N. 2 September 2019



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Scientific Research

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

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

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

Editorial Advisory Board

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

Table of Contents

Clasificación y Clustering de Series de Tiempo para Predicción del Comportamiento de Voltaje de Vehículos almacenados en Patios Automotrices	123-130
<i><u>Carolina Flores Peralta, Perfecto M. Quintero F., and Rodolfo Eleazar Pérez Loaiza</u></i>	
Analysis for Travelling Salesman Problem using Improved Ant Colony Optimization Algorithm	131-143
<i><u>Zar Chi Su Su Hlaing</u></i>	
Determination of Radiocarbon concentration ($\Delta 14C$) and CO ₂ emitted by fossil fuels in Dakar region (SENEGAL) from tree leaves using mass balance equations	144-158
<i><u>Matar Sène and Maurice Ndeye</u></i>	
Effet de la liane envahissante <i>Sericotheca scandens</i> Gilg & Lopr. (Amaranthaceae) sur la structure spatiale et le recrutement des espèces végétales ligneuses du Parc National de la Kibira au Burundi	159-170
<i><u>Richard Habonayo, Akomian Fortuné Azihou, Gbèwonmède Hospice Dassou, Mathias Hitimana, Aristide Cossi Adomou, and Bernadette Habonimana</u></i>	
Evaluation ethnobotanique et importance socioculturelle de <i>Uvariopsis tripetala</i> (Baker f.) G. E. Schatz au sud-Bénin : Une plante aromatique menacée d'extinction	171-185
<i><u>Akhénaton Adonai Mahouklo Bada Amouzoun, Romaël Badjréhou Badou, Gbèwonmède Hospice Dassou, and Aristide Cossi Adomou</u></i>	
Theoretical Confirmation of Seasonal and Solar Radiation Impacts on Outdoor Atmospheric Aerosols (PM _{2.5} , SO ₂ and CO) in FCT Abuja, Nigeria	186-194
<i><u>M. S. Shehu, I. Umaru, O. Adediji, A.A. Mundi, and R.S. Lawal</u></i>	
Atouts et faiblesses d'une gestion autonome des forêts classées impliquant les populations locales au Burkina Faso	195-200
<i><u>Joachim BONKOUNGOU, Jérôme Compaoré, Farid TRAORE, Passingbamba SAMA, Boureima SAWADO, and Nanawindin ZABRE</u></i>	
Analyse des pratiques agricoles d'adaptation aux aléas climatiques en production de maïs au Nord Est-Benin	201-212
<i><u>Alidou BAH SABI SERO GBASSI and Afouda Jacob YABI</u></i>	
Etude géographique des facteurs de développement des moustiques dans les localités à risque potentiel de paludisme à Chiépo, en Côte d'Ivoire	213-226
<i><u>Lazare TIA and Pierre Claver OGBAPO</u></i>	
Nitrogen and Phosphorus Optimization and Agronomic Nutrient Use Efficiency for Improved Wheat Performance	227-236
<i><u>Josephine Nakanwagi, John S Tenywa, Stephen Wobibi, Arthur Wasukira, William W. Wagoire, Janice Nakamya, Dennis Beesigamukama, and Wilberforce Wodada</u></i>	
Gestion des conflits entre agriculteurs et éleveurs dans la zone agro-écologique du centre Bénin	237-246
<i><u>DAGBELOU V. K. Dominique, A. SALIOU Rachidi A., OUMOROU M. YABI, and A. Jacob</u></i>	

Clasificación y Clustering de Series de Tiempo para Predicción del Comportamiento de Voltaje de Vehículos almacenados en Patios Automotrices

[Time Series Classification and Clustering for Voltage Behaviour Prediction from Vehicles stored inside Automotive Yards]

Carolina Flores Peralta, Perfecto M. Quintero F., and Rodolfo Eleazar Pérez Loaiza

Departamento de Estudios de Posgrado,
Tecnológico Nacional de México/I.T. Apizaco,
Apizaco, Tlaxcala, México

Copyright © 2019 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: An Automotive Yard stores a big number of vehicles that stay in the site for different intervals of time (days, weeks or months), requiring preventive maintenance during their stay. Through Internet of Things Sensors, the battery voltage of each vehicle is recorded every day generating a large data transformed into time series to analyze it. Classification and Clustering Algorithms based on K-Nearest Neighbors were developed using scikit-learn tool, for the extraction of knowledge from the IoT Data, specifically battery voltage behavior patterns according to certain vehicle models. The performance of the algorithms was obtained making a comparison between them. The information founded will be of help for the planning of preventive maintenance carried out in the logistics processes of the automotive yard, minimizing the replacement of batteries and along with this the economic and ecological cost.

KEYWORDS: Time Series, k-Nearest Neighbors, IoT Sensors, Clustering, Classification.

1 INTRODUCCIÓN

El Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things) es un concepto que ha tenido un crecimiento en los últimos años con el uso de sistemas embebidos que obtienen información del entorno y la envían a la World Wide Web. Obtener información de los sensores de objetos ubicados en cualquier parte del mundo brinda una gran oportunidad para identificar, rastrear, controlar, evaluar, reparar y planificar objetos o “cosas” dentro de sistemas complejos [1]. El conocimiento que se obtiene de entornos de IoT permite crear nuevos e inteligentes sistemas de apoyo a la toma de decisiones para la optimización de procesos de diferentes campos, por ejemplo, la logística del transporte.

Existen diferentes procesos logísticos aplicados en la industria automotriz, uno de ellos comienza cuando los vehículos de una planta ensambladora o de importación son transportados a un Patio Automotriz donde son administrados y cuidados para después enviarlos a Concesionarias o exportarlos a mercados internacionales. La implementación de Internet de las Cosas en la logística del transporte comienza con un Dispositivo de Monitoreo OBD (On Board Diagnostics), que es instalado en cada uno de los vehículos almacenados, enviando información del estado del vehículo en tiempo real. Estos datos deben ser analizados e interpretados para la toma de decisiones por parte del personal logístico que ayuden a planificar y mejorar los procesos de llegada, mantenimiento y entrega de vehículos.

A través del enfoque de Análisis de Datos de Sensores IoT y la aplicación de técnicas de Aprendizaje Máquina se pretende encontrar información valiosa en los Datos de Registros de Voltaje de Baterías de Vehículos almacenados en un Patio Automotriz que mejore los procesos de una Empresa Logística.

El objetivo de este trabajo es desarrollar Algoritmos de Aprendizaje Maquina que sean capaces de encontrar patrones y obtener conocimiento del comportamiento del nivel de voltaje de baterías de vehículos para predecir las descargas de las baterías y optimizar la planeación de mantenimiento preventivo de los vehículos almacenados, minimizando el remplazo de baterías y junto con esto el costo económico y ecológico.

La sección 2 presenta un Análisis Exploratorio y el Pre-procesamiento de Datos, la sección 3 presenta el desarrollo de los algoritmos de Aprendizaje Maquina basados en Vecinos Cercanos. La sección 4 muestra la evaluación de los algoritmos. Finalmente, las conclusiones son dadas en la sección 5.

2 ANÁLISIS EXPLORATORIO Y PRE-PROCESAMIENTO DE DATOS

El conjunto de datos utilizado en este trabajo contiene un mes de registros de vehículos, el conjunto de datos está conformado por 3168 registros con 4 parámetros: Día del Mes, VIN (Identificador de Vehículo), Nivel de Voltaje de la Batería y Modelo del Vehículo. Un extracto de los datos se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Conjunto de Datos: Registros de Voltaje de Vehículos

Día	VIN	Voltaje	Modelo
1	VF3CC5FS7HT003052	1202	5
1	VF3CC5FS9HT002985	1256	7
...			
24	VF3CC5FS7HT003052	664	5
24	VF3CC5FS9HT002985	698	7

2.1 SERIES DE TIEMPO

Una Serie de tiempo $x = \{x_1, \dots, x_T\}$ es un conjunto de valores reales ordenados donde x_1 es el n-ésimo elemento de x y donde su longitud es denotada por T . Dado que una serie de tiempo está conformada por valores consecutivos registrados en un periodo de tiempo, los voltajes de Día 1 al Día 24 de cada vehículo fueron colocados sucesivamente añadiendo el modelo del vehículo como su Clase, obteniendo así 132 series de tiempo etiquetadas, que representan el comportamiento del voltaje de cada vehículo de acuerdo a su modelo. La Tabla 2 presenta un extracto de las series de tiempo obtenidas y la Figura 1 muestra el comportamiento del voltaje de la batería durante un mes agrupando los vehículos de acuerdo a su modelo.

Tabla 2. Conjunto de Datos: Series de Tiempo

Día 1	Día 2	...	Día 24	Modelo
1202	998	...	745	5
...	...	...	...	
1244	1171	...	651	2

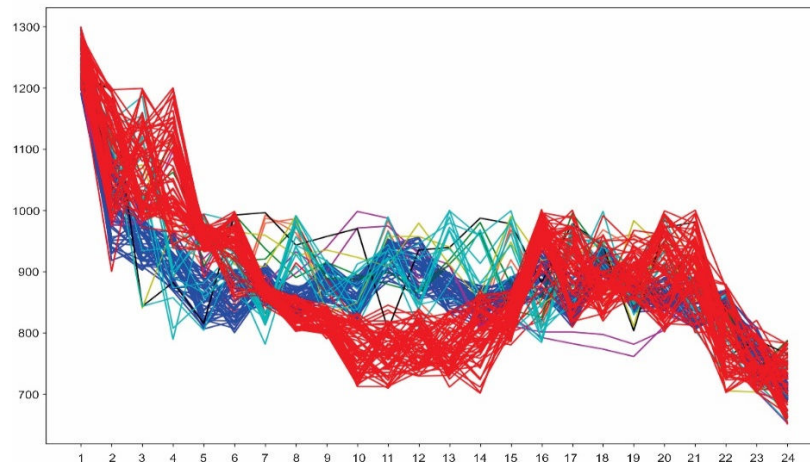


Fig. 1. Comportamiento de Voltaje por Modelos

3 DESARROLLO DE ALGORITMOS

3.1 CLASIFICACIÓN BASADA EN K-VECINOS MÁS CERCANOS

Mediante la aplicación de técnicas de clasificación para el análisis de datos es posible establecer relaciones entre una Clase y los atributos que la describen. La clasificación de datos es un proceso de dos etapas. El primero es la Etapa de Aprendizaje, donde un algoritmo de clasificación construye un Clasificador aprendiendo de un conjunto de datos de entrenamiento que asocia atributos a Clases. En la segunda etapa, llamada Etapa de Clasificación, el Clasificador es usado para predecir la Clase de un conjunto de datos de prueba. La exactitud del Clasificador es estimada por medio de la comparación de la Clase Real con la Clase Predicha por el Clasificador para cada registro del conjunto de datos [2].

La técnica de clasificación basada en k-Vecinos Más Cercanos asume que las instancias que están más cerca, basándose en alguna medida de similitud, tienden a pertenecer a la misma Clase [3]. El conjunto de datos de entrenamiento está formado por n atributos, cada registro representa un punto en un espacio n -dimensional. Todos los registros del conjunto de entrenamiento son almacenados en un esquema de espacio n -dimensional. Dado un registro desconocido, el clasificador busca un esquema de espacio de los k registros del conjunto de entrenamiento que este más cercano al registro desconocido. Entonces, al dar un registro sin clasificar, los k vecinos más cercanos que estén más cercanos al Registro Objetivo tienen más peso y son seleccionados, combinando sus Clases, y prediciendo así la Clase del Registro Objetivo.

En este trabajo, cada registro es una Serie de Tiempo, donde su Clase es el Modelo de Vehículo y los atributos que describen dicha clase son los valores de voltaje. Para predecir el Modelo de Vehículo de una Serie de Tiempo sin clasificar, el clasificador mide la similitud del Registro Objetivo con cada registro del conjunto de datos de entrenamiento basado en una medida de distancia entre Series de Tiempo. Después, de acuerdo a los k vecinos más cercanos al Registro Objetivo, las Clases de los k vecinos son combinadas para derivar la predicción de la Clase (Modelo de Vehículo) del Registro Objetivo.

El cálculo de la distancia entre Series de Tiempo es clave para su Clasificación y Clustering. La distancia entre Series de Tiempo sigue la definición siguiente: Dado $x = \{x_1, \dots, x_T\}$ y $y = \{y_1, \dots, y_T\}$ como series de tiempo de longitud T , si la distancia entre dos series de tiempo es definida a través de todos sus puntos, entonces, $dist(x, y)$ es la suma de la distancia entre los puntos individuales (Ver Ecuación 1).

$$dist(x, y) = \sum_{t=1}^T dist(x_t, y_t) \quad (1)$$

3.1.1 CLASIFICADOR K-NN CON DISTANCIA EUCLIDIANA

Existen diferentes familias de medidas de distancia, una de ellas es la familia o norma L^p , donde al cambiar el valor del parámetro p se definen distintas medidas de distancia [4]. A cambiar el valor de p a 2, la distancia Euclidiana (norma L^2) se obtiene de acuerdo a la Ecuación 2, que corresponde a una línea recta directa entre dos puntos. La Figura 2 muestra la representación gráfica del cálculo de la distancia Euclidiana entre cada punto de dos Series de Tiempo.

$$dist_{Euclidiana}(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^T (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

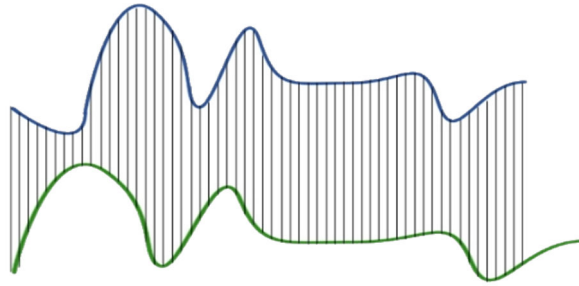


Fig. 2. Representación gráfica del Cálculo de Distancia Euclidiana entre dos Series de Tiempo

Un primer clasificador fue desarrollado basado en la técnica de k-Vecinos más Cercanos y utilizando como medida de similitud entre Series de Tiempo la Distancia Euclidiana.

3.1.2 CLASIFICADOR K-NN CON ALINEAMIENTO TEMPORAL DINÁMICO (DTW)

Existe otra medida de distancia llamada Alineamiento Temporal Dinámico (DTW, Dynamic Time Warping) utilizada para encontrar la alineación no lineal óptima entre dos series de tiempo. DTW es un algoritmo para la medición de similitud entre dos secuencias temporales que pueden variar en tiempo o velocidad. Este método encuentra una coincidencia óptima entre dos secuencias dadas y permite una o varias asignaciones, por lo tanto, permite que un punto se asigne a múltiples puntos en la otra secuencia [5].

DTW comienza con la construcción de una Matriz de Costo Local (MCL o mcl), con $n \times m$ dimensiones. Considerando x y y como series de entrada, para cada elemento (i, j) de la MCL, la norma l_p entre x_i y y_j debe ser calculada con la Ecuación 3.

$$mcl(i, j) = (\sum_v |x_i^v - y_j^v|^p)^{1/p} \quad (3)$$

Definimos una distancia DTW_p , donde p corresponde a la norma l_p , la cual es usada en la construcción del MCL. El algoritmo DTW busca la trayectoria que minimice el alineamiento entre x y y por paso iterativo a través de la MCL desde $mcl(1, 1)$ hasta $mcl(n, m)$ y agregando el costo. En cada paso, el algoritmo encuentra una dirección en la cual el costo aumenta menos de acuerdo a las restricciones elegidas. Si definimos $\phi = \{(1, 1), \dots, (n, m)\}$ como un conjunto que contiene todos los puntos que caen en la ruta óptima, la distancia final se calculará con la Ecuación 4, donde m_ϕ es un coeficiente de ponderación por paso y M_ϕ es la constante de normalización correspondiente [6]. La Figura 3 muestra la representación gráfica del cálculo de la distancia entre cada punto de dos Series de Tiempo.

$$DTW_p(x, y) = \left(\sum \frac{m_\phi l_{cm(k)}^p}{M_\phi} \right)^{1/p}, \forall k \in \phi \quad (4)$$

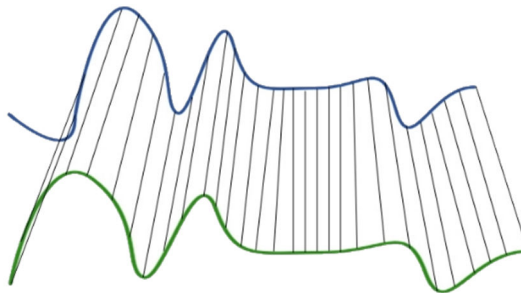


Fig. 3. Representación gráfica del cálculo de Distancia DTW entre dos Series de Tiempo

3.2 CLUSTERING PARA SERIES DE TIEMPO BASADO EN K-MEANS Y ALINEAMIENTO TEMPORAL DINÁMICO

Clustering es un proceso de partición de un conjunto de datos de objetos u observaciones en subconjuntos. Cada subconjunto es un Cluster, por lo que los objetos de un cluster son similares entre sí, y distintos a los objetos en otros clusters[2]. Como método de clustering, se utilizó un enfoque de k-vecinos más cercanos llamado k-Means utilizando como medida de Distancia el Alineamiento Temporal Dinámico DTW.

Formalmente, dado un conjunto de datos D de n objetos y k , el número de clusters a crear, el algoritmo k-Means organiza los objetos en k particiones ($k \leq n$), donde cada partición representa un cluster. Los clusters son formados para optimizar un criterio objetivo, en este caso, la función de distinción de dos series de tiempo basados en su distancia DTW, de modo que los objetos dentro de un grupo son similares entre sí y diferentes a los objetos en otros grupos en términos de los atributos del conjunto de datos, en este caso, los valores del voltaje de cada vehículo. La Figura 4 presenta los clusters encontrados dentro del conjunto de series de tiempo.

3.2.1 ALGORITMO DE PREDICCIÓN DE SERIES DE TIEMPO POR CLUSTERING

Del previo trabajo de clustering, los 3 clusters encontrados serán tomados como Modelos de Clusters k , donde cada k está asociado a un Modelo de Vehículo. Para identificar el Modelo de Vehículo de una serie de tiempo, se encontrará el cluster al que pertenece, asociándole entonces el Modelo de Vehículo del k Modelo. La Figura 5 muestra las series de tiempo asociadas a cada cluster.

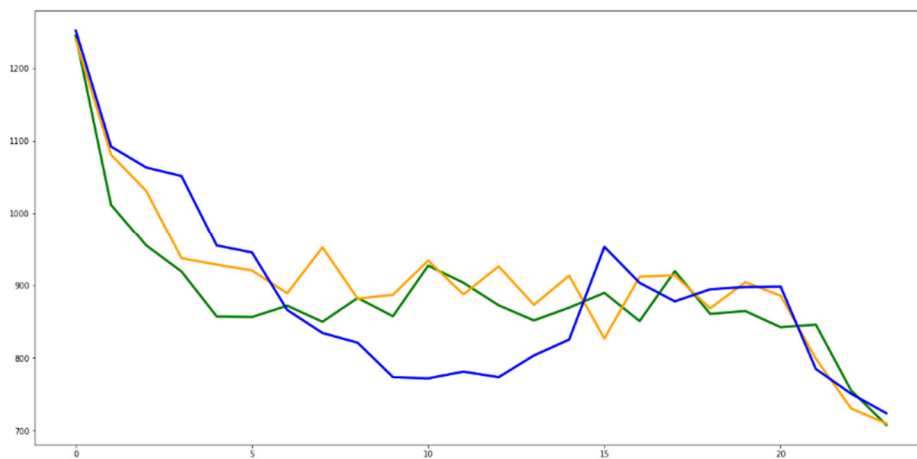


Fig. 4. Clusters

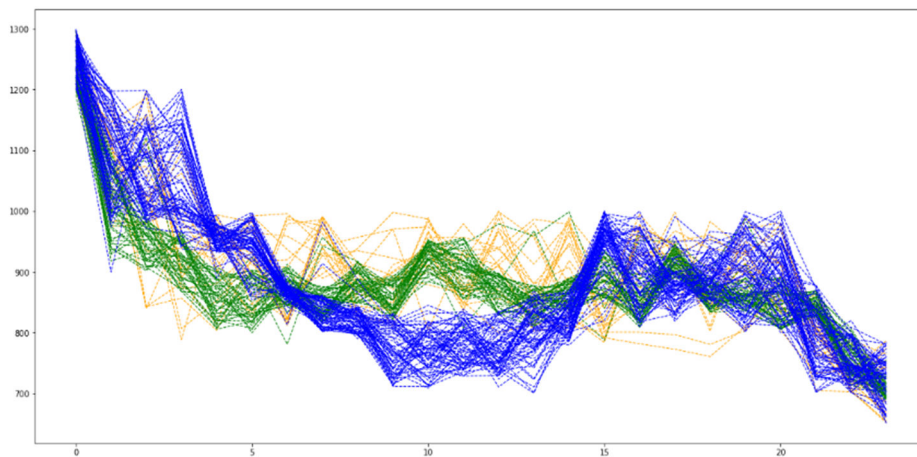


Fig. 5. Miembros de cada Cluster

4 EVALUACIÓN

Para evaluar los tres modelos construidos, evaluaremos la exactitud de cada uno, es decir, la capacidad predictiva de cada clasificador. La exactitud de un clasificador es obtenida por el porcentaje de registros de un conjunto de prueba que son correctamente clasificadas. Además, para garantizar una evaluación correcta de la exactitud de cada modelo, se utilizó la técnica Validación Cruzada k-fold.

4.1 EXACTITUD

Para evaluar los clasificadores, se utiliza un conjunto de pruebas de tuplas o registros etiquetados con su Clase, con tuplas positivas P, y tuplas negativas N. En cada tupla, se compara la Etiqueta de clase obtenida por del clasificador con la Etiqueta de clase Conocida de la tupla. Existen 4 términos adicionales conocidos como “bloques de construcción” utilizado para el cálculo de la exactitud [2]:

- TP Verdaderos positivos: Sea TP número de verdaderos positivos, es decir, tuplas positivas clasificadas correctamente.
- TN Negativos verdaderos: Sea N el número de verdaderos negativos, es decir, tuplas negativas clasificadas correctamente.
- FP Falsos positivos: Sea FP el número de falsos positivos, es decir, tuplas negativas etiquetadas incorrectamente como positivas.
- FN Falsos negativos: Sea FN, el número de falsos negativos, es decir, tuplas positivas etiquetadas incorrectamente como negativas.

La matriz de confusión presentada en la Tabla 3 sirve como herramienta para analizar el desempeño de los clasificadores en el reconocimiento de las diferentes clases del conjunto de datos. Los términos TP y TN determinan un buen desempeño del clasificador, y los términos FP y FN el caso contrario, cuando el clasificador asigna una clase errónea

Tabla 3. Matriz de Confusión

Clase Actual	Clase Predicha			Total
		Yes	No	
	Yes	TP	FN	P
	No	FP	TN	N
	Total	P'	N'	P+N

La exactitud de un clasificador para un conjunto de datos de prueba es calculada con la Ecuación 5, que obtiene el porcentaje de tuplas que son clasificadas correctamente.

$$Exactitud = \frac{TP + TN}{P + N} \quad (5)$$

4.2 VALIDACIÓN CRUZADA K-FOLD

En el cálculo de la exactitud de los clasificadores, los datos a clasificar se dividen aleatoriamente en un conjunto de entrenamiento y un conjunto de prueba, la estimación suele ser pesimista porque solo una parte de los datos es usada para la comprobación de la exactitud. En la validación cruzada, dos tercios del conjunto de datos son usados para el conjunto de entrenamiento, y el tercio sobrante como conjunto de prueba.

La Validación Cruzada k-Fold divide aleatoriamente el conjunto de datos en k “pliegues” (folds) exclusivos $D_1, D_2, \dots, D_k$, aproximadamente del mismo tamaño. El entrenamiento del clasificador y su evaluación es realizada n veces, cuando la iteración es i , el pliegue D_i se retiene como conjunto de prueba, entrenando al clasificador con los pliegues sobrantes $k - 1$.

Cada pliegue se usa el mismo número de veces para entrenar el clasificador y una sola vez como conjunto de prueba, para calcular la exactitud en la clasificación se divide el total de clasificaciones correctas de las k iteraciones entre el total de tuplas del conjunto de datos.

4.3 RESULTADOS

La evaluación de los diferentes algoritmos desarrollados fue realizada a partir del cálculo de la Exactitud y Validación Cruzada de cada uno. La Tabla presenta las puntuaciones de la Exactitud y la Validación Cruzada obtenidas por cada algoritmo. Al usar el Alineamiento Temporal Dinámico (DTW) como medida de distancia entre series de tiempo, el clasificador tuvo una mejora significativa.

Tabla 4. Evaluación de Modelos

Clasificador	Puntuación de Exactitud	Puntuación de Validación Cruzada
Clasificador k-NN con Distancia Euclidiana	0.61198	0.4678
Clasificador k-NN con Alineamiento Temporal Dinámico (DTW)	0.8888	0.9037
Algoritmo de Predicción de Series de Tiempo por Clustering	0.96	0.7884

5 CONCLUSIONES

En este artículo se presentó el trabajo inicial del desarrollo de modelos de clasificación y clustering para la predicción del comportamiento de baterías de vehículos almacenados en un Patio Automotriz. El conjunto de datos utilizado es pequeño, para algunos modelos de vehículos existen pocos registros por lo que debilitaron un poco el aprendizaje de los algoritmos para ciertos modelos.

Sin embargo, mediante el uso de series de tiempo que representan el comportamiento de las baterías de los vehículos y la aplicación de una medida de distancia adecuada, tal como DTW, fue posible obtener patrones del comportamiento de la batería de acuerdo al Modelo del Vehículo.

Utilizando enfoques de clasificación y clustering, fue posible obtener una predicción del comportamiento de la batería de los vehículos de diferentes modelos que ayuden a la planificación del mantenimiento correctivo y predictivo llevado a cabo en los procesos logísticos de un Patio Automotriz.

AGRADECIMIENTO

El trabajo de investigación fue realizado bajo la supervisión de Pascal Poncelet, Ph.D., por lo que expresamos sinceros agradecimientos. Al Laboratorio de Informática, Robótica, Electrónica y Microelectrónica de Montpellier por abrir sus puertas para realizar una estancia de colaboración científica. Agradecemos también el apoyo económico del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, México).

REFERENCIAS

- [1] Bibri, S. E., *The shaping of Ambient Intelligence and the Internet of Things: histórico epistemic, socio-cultural, politico-institutional and eco-environmental dimensions*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2015.
- [2] Jiawei Han, Jian Pei, Micheline Kamber, *Data Mining: Concepts and Techniques*, Edition 3, Elsevier, 2011.
- [3] T. Cover and P. Hart, "Nearest neighbor pattern classification", *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 13, no. 1, pp. 21-27, Enero 1967.
- [4] Mirco Kocher, Jacques Savoy, "Distance measures in author profiling", *Information Processing & Management*, vol. 53, Issue 5, pp. 1103-1119, 2017.
- [5] R. Ma and R. Angryk, "Distance and Density Clustering for Time Series Data", *IEEE International Conference on Data Mining Workshops (ICDMW)*, New Orleans, LA, 2017, pp. 25-32, 2017.
- [6] Sarda-Espinosa, Alexis. "Comparing Time-Series Clustering Algorithms in R Using the dtwclust Package." 2017.
- [7] Simon Elias Bibri, "The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability", *Sustainable Cities and Society*, vol 38, pp. 230-253, ISSN 2210-6707, 2018.
- [8] Grazia Speranza, M., "Trends in transportation and logistics", *European Journal of Operational Research*, vol. 264, ISSN 0377-2217, 2018.

- [9] Rahat Iqbal, Faiyaz Doctor, Brian More, Shahid Mahmud, Usman Yousuf, "Big Data analytics and Computational Intelligence for Cyber-Physical Systems: Recent trends and state of the art applications", *Future Generation Computer Systems*, ISSN 0167-739X, 2017.
- [10] Yen-Hsien Lee, Chih-Ping Wei, Tsang-Hsiang Cheng, Ching-Ting Yang, "Nearest-neighbor-based approach to time-series classification", *Decision Support Systems*, vol. 53, Issue 1, pp. 207-217, 2012.
- [11] J. Yin, D. Zhou and Q. Xie, "A Clustering Algorithm for Time Series Data", *Seventh International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies (PDCAT 06)*, Taipei, 2006, pp. 119-122, 2006.
- [12] V. Prema, K. Uma Rao, "Development of statistical time series models for solar power prediction", *Renewable Energy*, vol. 83, pp. 100-109, 2015.
- [13] H. Kremer, S. Gunnemann and T. Seidl, "Detecting Climate Change in Multivariate Time Series Data by Novel Clustering and Cluster Tracing Techniques", *IEEE International Conference on Data Mining Workshops*, Sydney, NSW, 2010, pp. 96-97, 2010.

Analysis for Travelling Salesman Problem using Improved Ant Colony Optimization Algorithm

Zar Chi Su Su Hlaing

Faculty of Information Science,
University of Computer Studies (Magway),
Magway, Myanmar

Copyright © 2019 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: Ant Colony Optimization (ACO) is a recent algorithm used for solving optimization problems and is the model on the behavior of real ant colonies. It has been used exclusively for solving problems in the combinatorial optimization domain. Traveling salesman problem (TSP) is one of the well-known and extensively studied problems in combinatorial optimization and used to find the shortest roundtrip of minimal total cost visiting each given city (node) exactly once and it can be applied to solve many practical problems in real life. ACO is a good search capability and a high-performance computing method for TSP. But, the traditional ACO has many drawbacks such as stagnation behavior, trapping in local optimal and premature convergence. This paper implements and evaluates a specialized version of ant colony optimization capable of searching in travelling salesman problems and evaluates its performance under a range of conditions and test cases. The proposed system is an improved ant colony optimization algorithm with dynamic candidate set strategy is adopted to rapid convergence speed and adapting parameter to improve the performance in solving TSP. Algorithms are tested on benchmark problems from TSPLIB and test results are presented. From our experiments, the algorithm has better performance on TSP and analysis results are presented.

KEYWORDS: combinatorial optimization, stagnation behavior, adaptive behavior, dynamic candidate set, adapting parameter.

1 INTRODUCTION

Ant Colony Optimization is a perpetual topic in the research field of metaheuristic how to improve the convergence speed under the condition of guaranteeing the solution quality. ACO is a constructive metaheuristic techniques that allows each ant to add an element (such as the next city for the TSP) to its solution at each step of the algorithm. One possible difficulty encountered by ACO algorithms is when they are applied to problems with big-sized neighborhood in the solution construction. Possible problems are that the solution construction is significantly slow down because of scanning the set of all possible solution elements before choosing a particular one and that the probability which many ants visit the same state is very small. Hence, the computational time required for each step of the algorithm can be large. Such a situation can occur in the ACO application to large TSPs. There has been little work done in this area, despite the fact that this can potentially improve the efficiency of ACO, especially for large real world problems. So, both comparative slow convergence speed and comparative long runtime are the quite prominent problems in ACO.

In such situations, the above-mentioned problem can be considerably reduced by the use of candidate lists. Candidate lists comprise a small set of promising neighbors of the current state. Using a prior available knowledge on the problem, candidate lists are created, if available, or dynamically generated information. Their use allows ACO algorithms to focus on the more interesting components, strongly reducing the dimension of the search space.

Candidate set strategies have traditionally only been used as part of a local search procedure applied to the solutions generated by ACO. However, the strategies developed for local search heuristics such as 2-Opt and 3-Opt are inappropriate for

use in the construction phase of the ACO algorithm and it is only in later improvements of ant colony system that candidate set strategies were applied as part of the construction process.

TSP has also been widely used as a problem for testing various metaheuristics. Some work based on ant colony optimization technology was reported by Dorigo et al. [1], [2], [3] and [4]. MacGregor and Chu [6] provided a review of recent research on human performance on the travelling salesman problem and related combinatorial optimization problems. Various adaptations: an algorithm based on the basis of the ant system, dynamic control of solution construction and emergence of local search [9], new pheromone updating strategies [12], max-min ant system [11], a strategy is to partition artificial ants into two groups: scout ants and common ants [14], are studied to improve the quality of the final solution and lead to speedup of the algorithm.

2 REASONS FOR ADAPTING PARAMETER

The basic ant system faces with many drawbacks such as stagnation behavior, trapping in local optimal and premature convergence. Stagnation denotes the undesirable situation in which all ants construct the same solution over and over again, making further exploration of newer paths almost impossible. This derives from excessive trail levels on the edges of one solution, and can be observed in advanced phases of the search process. It happens when the ACO parameters (α , β , ρ , q_0) are not well tuned for undertaking the problem.

The following stagnation problem was observed on ant colony system. The individuals with the lowest values for q_0 and the highest values for q_0 dominated the construction very quickly. This is not unsurprising, since these individuals avoid exploration and focus only on exploitation. A low value ranks distance higher than pheromone information. A low q_0 influences the algorithm to explore more often, but if the value is too low, the search tends to be too erratic and unguided, despite the pheromone trail. Also, a high value for q_0 means that the locally best option is chosen rather than any option probabilistically. This leads to relatively short tours, since no exploration takes place. Exploration generally results in longer tours and therefore individuals who favor exploration will be seen as less fit and their genes will vanish from the gene pool. In rare cases exploration successfully finds a shorter tour, but generally 'exploration favoring' values will be eradicated before they get a chance to prove their worth. 'Exploitation favoring' on the other hand comes to dominate the ants due to this premature convergence. One would really like to defer the selection for a few iterations in order to give the 'exploring' ants a chance to find an improved tour.

To prevent this premature convergence and stagnation, a random number q is generated and compared to the trail on the edge. For a very high pheromone trail τ , q will be less and for a low value of the same, q is high. Thus, if the trail is not too high, the algorithm may overlook the best path at the selection point and take up an alternative edge. However, if the trail is very high, the algorithm has a tendency to stick to this edge. Therefore, it can be encouraged from the above discussion that the proposed system adapts the parameter q_0 and dynamic updating of parameter β which is to prevent the system stagnating at points and thus avoids locally optimized solutions and improve the performance of the algorithm.

3 IMPROVED ACO ALGORITHM

A modified version of the ant colony system is based on ACS [1], [2]. The state transition rule and pheromone updating rules are from the original ant colony system. The modifications include flexible state transition rule and dynamic candidate list strategy. The system introduces a mechanism for escaping from local optima as well as increasing time efficiency.

The rule used by ants to select the next city has been the same from the ant colony system. Some of the time an ant will choose a city using the same biased random choice as before. The rest of the time the ant chooses only the "best" city based on the visibility and the trail.

Formally, an ant k on city r chooses a city s to move to according to:

$$s = \begin{cases} \arg \max_{u \in J_k(r)} \left\{ [\tau_{(r,u)}]^\alpha \cdot [\eta_{(r,u)}]^\beta \right\}, & \text{if } q \leq q_0 \\ S, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

where q is a random number in the range (0,1), q_0 is a constant, $J_k(r)$ is the set of cities that have not been visited by the k^{th} ant, and S is a random city selected according to:

$$P_k(r,s) = \begin{cases} \frac{[\tau(r,s)]^\alpha \cdot [\eta(r,s)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(r)} [\tau(r,u)]^\alpha \cdot [\eta(r,u)]^\beta}, & \text{if } s \in J_k(r) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

where, $P_k(r,s)$ is the probability of choosing city s from city r . $J_k(r)$ is the set of unvisited cities by ant k . $\tau(r,s)$ is pheromone for moving from city r to city s . $\eta(r,s)$ is local heuristic for moving from city r to city s is $1/d(r,s)$. α determines the importance of pheromone information and β determines the importance of heuristic visibility.

3.1 EXPLORATION AND EXPLOITATION

The algorithm has to achieve an appropriate balance between the exploitation of the search experience so far and the exploration of unvisited or relatively unexplored search space regions. Exploitation is the decision of taking the path with highest calculated probability. Exploration is the process whereby the ants decide which path to take based on the probabilities calculated. Hence, there is a higher chance of taking a path with higher probabilities. So exploitation or exploration is an important factor of the algorithm. The decision of exploitation or exploration factor is defined by a factor q_0 , exploitation factor, which is a floating point value between 0 and 1.

In ant colony system, the parameters q_0 , β , and ρ are constants that do not change during the execution of the ACS algorithm. Dorigo and Gambardella [3] used 0.9 as the value for q_0 . This means that the ants will build a tour by exploring 10% of the time, and exploiting 90% of the time. Intuitively, q_0 determines the relative importance of exploitation versus biased exploration, whereas β and ρ determine the desirability of the edges.

In the proposed algorithm, ants explore more at the beginning and toward the end of the algorithm they tend to exploit more, utilizing the information that has been accumulated. This is accomplished by allowing q_0 in each cycle. Specifically, in each cycle is calculated a new value for q_0 as follows:

$$q_0 = \frac{IterationCounter}{MaxIteration} \quad (3)$$

$$q_0 = \begin{cases} 0.1 & \text{if } q_0 < 0.1 \\ 0.9 & \text{if } q_0 > 0.9 \\ q_0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

where $IterationCounter$ is the current iteration (cycle) number and $MaxIteration$ is the maximum number of iterations. As q_0 gets larger, exploitation occurs more frequently. More exploitation may direct ants to use the edges of the global best tour more frequently. To avoid a local optimum when ants find the same tour over and over again or do not improve the global best tour after a certain number of iterations, we encourage the exploration of edges not used frequently by perturbing the global best tour erasing memory from some percentage of randomly chosen edges of the global best tour.

GLOBAL PHEROMONE UPDATING RULE

The next change is that only the globally best ant is allowed to deposit pheromone. The global pheromone update that occurred at the end of an iteration is an important phase. If there is no pheromone update, each ant will repeatedly find the same probability on all moves. The evaporation and deposit of pheromone is only added to the best route found since the beginning of the trial. This makes the global updating rule:

$$\tau(r,s) = \begin{cases} (1 - \rho) \cdot \tau(r,s) + \rho \cdot (L_{gb})^{-1}, & \text{if } (r,s) \in \text{global_best_tour} \\ \tau(r,s), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

where ρ is the pheromone decay parameter, and L_{gb} is the length of the globally best tour. The effect of this change is to concentrate the search made by the ants around the best known tour. Again, this increases exploitation.

LOCAL PHEROMONE UPDATING RULE

Finally, it is a local updating rule. While the global updating rule is applied to all edges at the end of each iteration, when all ants have completed a tour, the local updating rule is applied each time an ant moves to a new city. If no such action is performed, each of the ants in the iteration will be non-collaborative and use only the pheromone trail at the beginning of the iteration. The ant change the trail on the edge is followed according to the rule:

$$\tau(r, s) = (1 - \rho) \cdot \tau(r, s) + \rho \cdot \tau_0 \quad (6)$$

where ρ is a constant in the range (0,1) and τ_0 is the initial trail level. This initial value for trail is

$$\tau_0 = \frac{1}{n \cdot L_{nn}} \quad (7)$$

where n is the number of cities, and L_{nn} is the length of the tour obtained by a nearest-neighbour search. Using the local update strategy, the pheromone concentration on the traversed edges is decreased. So the subsequent ants are encouraged to choose other edges and to produce different solutions. This makes it less likely that several ants produce identical solutions during one iteration.

In the original ACS, when ants choose the next vertex to move to, they consider the entire set of vertices that have not been visited yet. This can be very time consuming. To improve the efficiency of IACO, we restrict the set of nodes (vertices) that the ants consider to the k nearest neighbors by using dynamic candidate list.

3.2 DYNAMIC CANDIDATE SET BASED ON NEAREST NEIGHBOUR

Candidate list (CL) is a strategy that tries to improve the performance of an ant algorithm. It was proposed by Gambardella and his colleagues to accommodate searching procedure of ACS on larger data. It is used fixed size candidate list. For example $CL = 15$, or $CL = 20$ when involves local search. However, applying a fixed list in candidate list is not flexible when facing with various sizes of data. Due to the purpose of improving algorithm performances, the proposed system is also applying candidate list. The proposed candidate list is a dynamic candidate list (DCL) procedure which captures a suitable number of nodes based on the total number of nodes and which sets need to be calculated and recalculated throughout the search process. It is a static data structure that lists a limited number of preferred closed cities to be visited order by increasing distance for each city. The numbers of closest cities that allowed being included into the candidate list were different from one algorithm to another. Due to the purpose of improving algorithm performance, the proposed algorithm is also applying dynamic candidate list in its solution construction process. The proposed dynamic candidate list based on nearest neighbor approach. It would not allow ants to venture into cities outside the candidate list. The number of cities or the size of the candidate list is also restricted to one fourth of the cities n . For example, seven was chosen resulting from the candidate list computation to determine the size of candidate list element for Oliver30 data. The candidate list procedure is as follows:

Procedure: Candidate list procedure	
1.	Initialize an empty node <i>Node</i> and <i>MaxLength</i>
2.	Set dynamic candidate_list $DCL = n/4$ /*size of candidate list*/
3.	if $DCL > MaxLength$ $DCL = MaxLength$
4.	Determine cities that not yet visited
5.	repeat
6.	for $i=1$ to n
7.	Find the unvisited city j within the nearest neighborhood of $k(j \in N(k))$
8.	Determine distance between city j and city r
9.	if $distance < distance \text{ of previous city } j$
10.	$Node \leftarrow city j$ (move city j to NL)
11.	end if
12.	end for
13.	$DCL \leftarrow Node$
14.	until candidate_list (DCL) is full

Fig. 1. Candidate List Strategy

4 IACO FOR SOLVING TSP

Now this section explains how the IACO operates, the following simple example is employed where the IACO is applied to solve a TSP which is considered a problem and the candidate solution is defined as a sequence of cities. In this example, there are eight cities (A to H) and assume that ant one (1) is placed in city A, ant two (2) is placed in city B and so on. Every time an ant (k) needs to move from city i to city j , it first search in candidate set and it adds its current start location to its tabu list and then uses Equation (3) where it generates a value for the parameter q_0 and also generates a random number for parameter q , when a random parameter $q \leq q_0$, ant (k) exploits the knowledge available about the problem and goes to city (j) which has the maximum product of the amount of pheromone on the edge (i, j) and the shortest distance between the two cities according to Equation (1). While when $q > q_0$, the ant (k) explores new solutions using a probability decision from Equation (2). Each city has a candidate list (cl); its length is defined by the number of cities listed. In this example, assume that $cl=2$, where cities (B) and (H) are on the candidate list of city (A) and they will be explored by ant (1) before other cities. it is assumed that ant (1) moves from city (A) to city (B), then city (B) will be added to the tabu list to avoid being visited twice by the same ant. After moving from city (A) to city (B), ant (1) updates the pheromone on the link between the two cities using local update Equation (6). For the next step, ant (1) again calculates the possibilities of moving from its current city (B) to those other cities that are not in its tabu list (C to H) using the same Equation (1) and so on until ant (1) visits all the seven cities as shown in Figure 2.

The length of the tour made by ant (1) will be calculated by adding the length of the arc between each two cities from the tour. The process will be accomplished by each ant and at the end of the iteration there will be five tours generated by five ants. The local search improvement is applied to improve the tour constructed by the ants, The shortest of these tours will be selected as the best tour and the arcs that form this tour will be updated using the global update formula in Equation (5). Then, calculate the current entropy by analyzing the pheromone information to update the heuristic parameter β . Then, the ants are placed again randomly for a second iteration and redefine the exploitation parameter q_0 . The algorithm goes on until a stopping criterion is met such as the minimum number of iterations or the global tour length has been found.

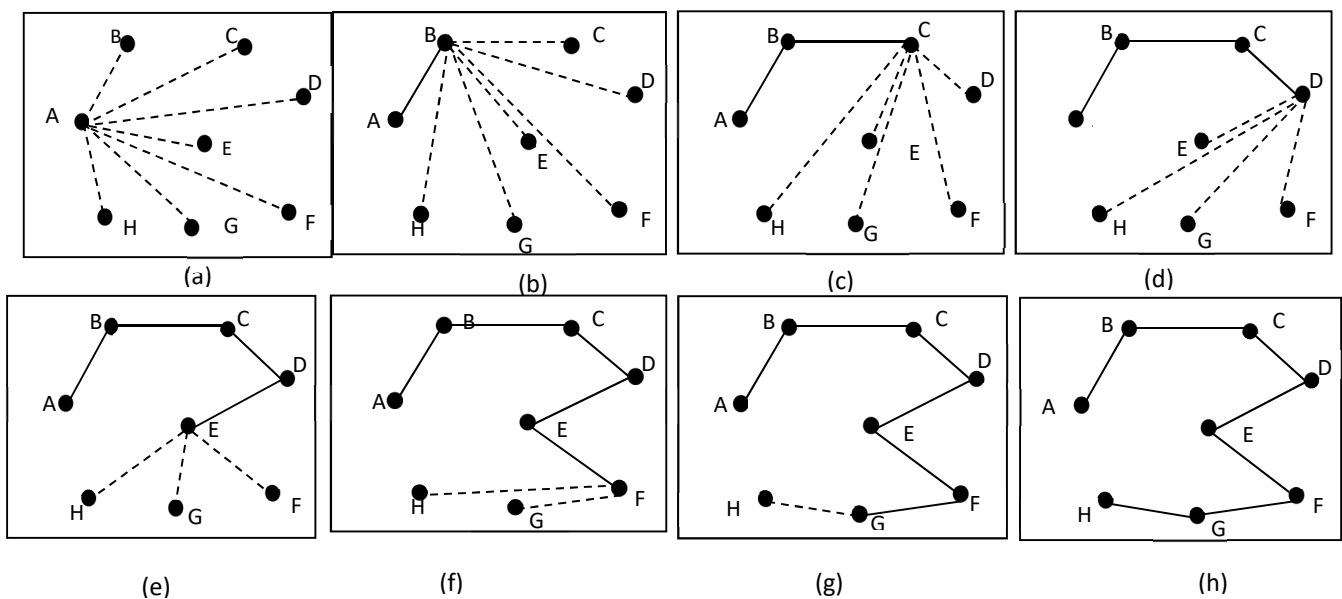


Fig. 2. IACO for a Simple TSP problem

5 PROCEDURE OF IACO

This section describes an implementation in a pseudo-code description.

```
Procedure: IACO for TSP
begin
  InitializeData
    while (not termination) do
      ConstuctSolutions
      LocalSearch
      UpdateStatistics
      UpdatePheromoneTrails
    end-while
end
```

Fig. 3. General Procedure of IACO for TSP

In data initialization, (1) the TSP instance has to be read; (2) the distance matrix of the read instance has to be computed; (3) the candidate lists for all cities have to be computed; (4) the ants randomly place the their staring cities; (5) the algorithm's parameters must be initialized and (6) some variables that keep track of statistical informaiton, such as number of iterations, or best solution found (best tour length), and best tour.

```
Procedure: InitializeData
begin
  ReadTSPInstance
    ComputeDistances
    Determine candidate_list procedure
    InitializeAnts
    InitializeParameters
    InitializeStatistics
end
```

Fig. 4. Initialization procedure of algrithm

In construction steps the following two constuction steps are repeated until all ants have completed a tour. When exploiting the procedure *ConstructExploitDecisionRule* needs to be adapted. If not so, the procedure *ConstructExploreDecisionRule* needs to be computed. In *ConstructExploitDecisionRule* a first change is that when choosing the next city, one needs to find an unvisited city from the candidate list of the current city. A second change is necessary to deal with the situation in which all the cities in the candidte list have already been visited by ant k . In this case, the variable *node* keeps its initial value -1 and one city out of those not in the candidate list is chosen. The proceduer chooses the maximum product of the pheromone value and heuristic information $[\tau_{ij}]^{\alpha}[\eta_{ij}]^{\beta}$ as the next to move to. In *ConstructExploreDecisionRule* it has the two change as the *ConstructExploitDecisionRule*. But the exploring procedure chooses the next unvisited city according to acton choice rule as Equation (2).

Procedure: ConstructSolution

```

begin
    curNode ← startNode
    q0 ← IterCounter/Iterations
    for k=1 to m ants do
        repeat
            q ← random number
            if (q < q0) then
                newNode ← ConstructExploitDecisionRule(k, curNode)
            else newNode ← ConstructExploreDecisionRule(k, curNode)
            end if
            Add newNode to ant k's tour
            LocalUpdatingRule(curNode, newNode)
            curNode ← newNode
        until ant k completes tour
    end for
end

```

Fig. 5. Construct solution procedure**Procedure: ConstructExploitDecisionRule(k, curNode)**

```

begin
    sum_probability ← 0.0 // CandidateListConstructionRule
    node ← -1
    for j=1 to DCL do
        if kth ant's node j is not visited in candidate list then
            selection_probability ← value of transition probability
            node ← j /* city with maximal  $\tau^\alpha \eta^\beta$  */
        end if
    end for
    if (node == -1) then // city outside candidate list
        for j=1 to n do
            if kth ant's node j is not visited outside the candidate list then
                selection_probability ← value of transition probability
                node ← j /* city with maximal  $\tau^\alpha \eta^\beta$  */
            end if
        end for
    end if
    return node
end

```

Fig. 6. Exploitation procedure of solution construction

Procedure: ConstructExploreDecisionRule($k, curNode$)

```
begin
    sum_probability  $\leftarrow$  0.0 // CandidateListConstructionRule
    node  $\leftarrow$  -1
    for  $j=1$  to DCL do
        if  $k^{th}$  ant's next node  $j$  is not visited in candidate list then
            partial_product  $\leftarrow$  pheromone_value *  $\exp(1/\text{distance}, \beta)$  /* city with  $\tau^\alpha \eta^\beta$  */
            sum_probability  $\leftarrow$  sum_probability + partial_product
        end if
    end for
    for  $j=1$  to DCL do
        if  $k^{th}$  ant's next node  $j$  is not visited in candidate list then
            selection_probability  $\leftarrow$  partial_product / sum_probability
            rno  $\leftarrow$  random number
            if selection_probability  $\geq$  rno then
                node  $\leftarrow$   $j$ 
                break
            end if
        end if
    end for
    if node = -1 then // city outside candidate list
        for  $j=1$  to  $n$  do
            if  $k^{th}$  ant's next node  $j$  is not visited outside the candidate list then
                partial_product  $\leftarrow$  pheromone_value *  $\exp(1/\text{distance}, \beta)$  /* city with  $\tau^\alpha \eta^\beta$  */
                sum_probability  $\leftarrow$  sum_probability + partial_product
            end if
        end for
        for  $j=1$  to  $n$  do
            if  $k^{th}$  ant's next node  $j$  is not visited outside the candidate list then
                selection_probability  $\leftarrow$  partial_product / sum_probability
                rno  $\leftarrow$  random number
                if selection_probability  $\geq$  rno then
                    node  $\leftarrow$   $j$ 
                    break
                end if
            end if
        end for
    end if
    return node
end
```

Fig. 7. Exploration procedure of solution construction

It is clear that by using candidate lists the computation time necessary for the ants to construct solutions can be significantly reduced, because the ants choose from among a much smaller set of cities. The next step is the local pheromone updating. It always triggers after the ants have moved to the next city.

```

Procedure: LocalUpdatingRule(curNode, newNode)


---


begin
  value  $\leftarrow (1-\rho) * \text{pheromone}[\text{curNode}][\text{newNode}] + \rho * \text{pheromone}[\text{curNode}][\text{newNode}]$ 
   $\text{pheromone}[\text{curNode}][\text{newNode}] \leftarrow \text{value}$ 
   $\text{pheromone}[\text{newNode}][\text{curNode}] \leftarrow \text{value}$ 
end

```

Fig. 8. Local pheromone updating procedure

Once the solutions are constructed, they may be improved by a local search procedure (for example 2-Opt or 2.5-Opt). The next step in an iteration of the algorithm is the pheromone update (global pheromone updating). This is implemented by the procedure of *UpdatePheromoneTrails*, which comprises two pheromone update phases: pheromone evaporation and pheromone deposit. Pheromone evaporation decreases the value of the pheromone trails on only the best path by a constant factor ρ . Pheromone deposit adds pheromone to the edges belonging to tours constructed by the ant's best path length. *ComputeCurrentEntropy* computes the pheromone information of the current pheromone matrix to be used in the next step. *UpdateHeuristicParameter* dynamically updates the heuristic parameter based on the entropy value of current pheromone information.

```

Procedure: UpdatePheromoneTrails


---


begin
  for  $i=1$  to  $n-1$  do
     $\tau \leftarrow 1 / \text{bestLength}$ 
     $\text{evaporation} \leftarrow (1-\rho) * \text{pheromone}[\text{bestPath}[i]][\text{bestPath}[i+1]]$ 
     $\text{deposition} \leftarrow \rho * \tau;$ 
     $\text{pheromone}[\text{bestPath}[i]][\text{bestPath}[i+1]] \leftarrow \text{evaporation} + \text{deposition}$ 
   $\text{pheromone}[\text{bestPath}[i+1] \text{bestPath}[i]] \leftarrow \text{pheromone}[\text{bestPath}[i]][\text{bestPath}[i+1]]$ 
  end for
end

```

Fig. 9. Global pheromone updating procedure

6 EXPERIMENTAL RESULTS (ANALYSIS OF TOUR LENGTH RESULTS)

Firstly, the proposed algorithm was tested to see how it performed; the eil51 case was chosen as test case. The results were shown over 20 trials with 20 iterations per trial (run) for eil51. The parameters used in this test case are $\alpha = 1$, $\beta = 5$, $\rho = 0.1$, number of ants is 10 and number of iterations is 20. The results show that how big deviation from optimal distance when running the proposed system several times both with and without optimization with local search optimization. The tour length (distance) is represented as in unit.

As seen in Figure 10, the proposed algorithm gets an average of tour length, 426.6 when using optimization with local search, which is 0.6 higher than the optimal of 426. The deviation of the proposed algorithm's result (degree of approximation) is 0.14% from the optimal distance. The proposed algorithm's results vary from 426 (0% deviation) to 428 (0.47% deviation) and considering half of the running results are converged to the optimal and average length of the runs are much closed to the optimal. Moreover, Figure 11 and 13 shows the analysis results that are commonly used (can be found in literature) can be shown graphically as in best tour-so far solution, tour best and standard deviation respectively.

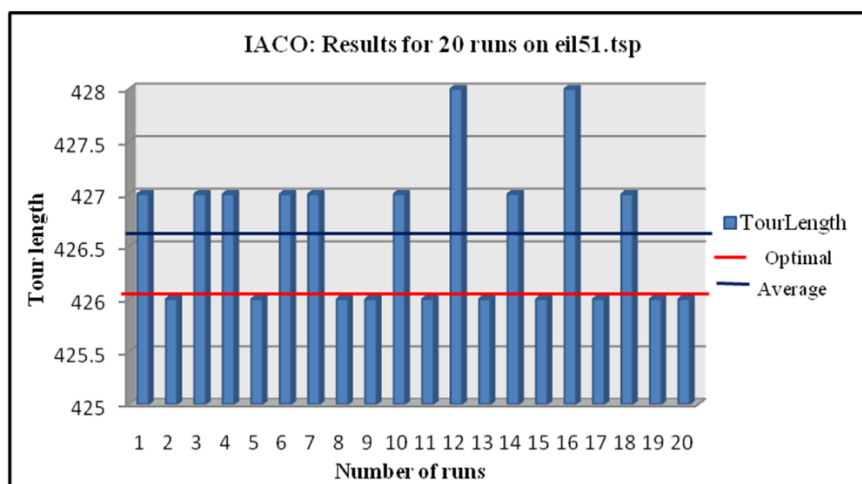


Fig. 10. Results the eil51 instance using local search (2-Opt)

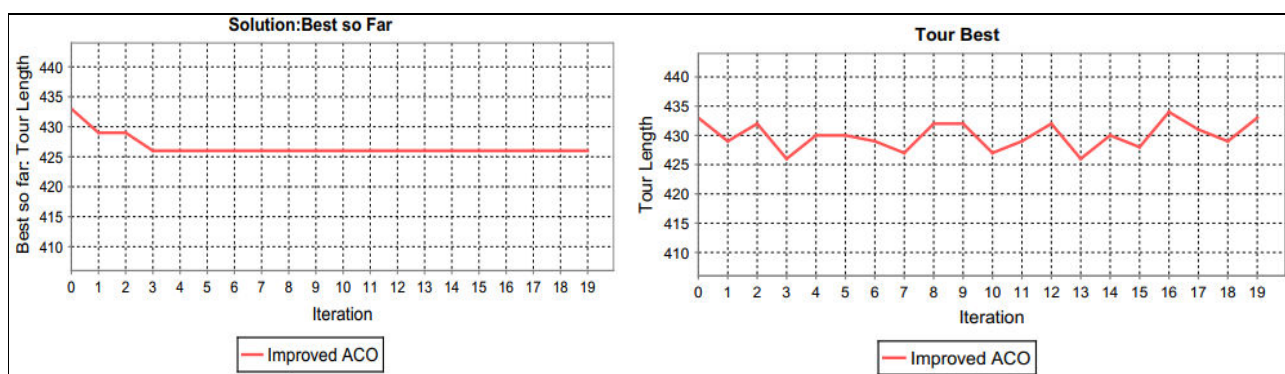


Fig. 11. Best so far solution of tour length and Tour best result for eil51 instance

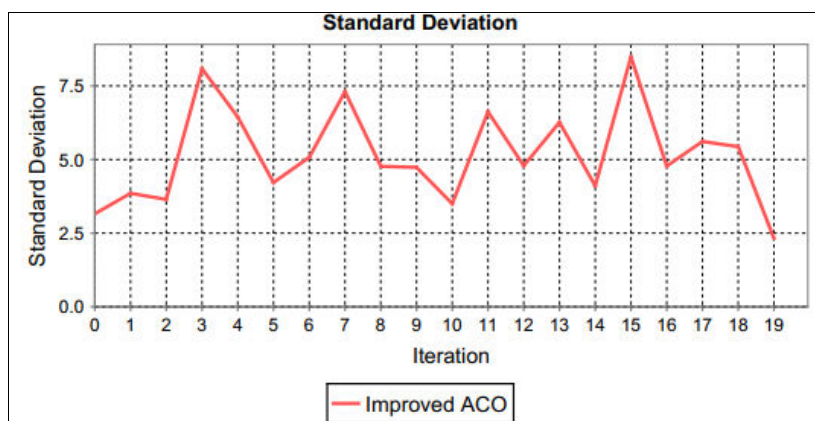


Fig. 12. Standard deviation of tour length for eil51 instance

Iteration	Best Tour	Average Tour Best	Standard Deviation
1	433.0	433.000	3.156
2	429.0	431.000	3.852
3	429.0	430.333	3.646
4	426.0	429.250	8.088
5	426.0	428.600	6.447
6	426.0	428.167	4.219
7	426.0	427.857	5.075
8	426.0	427.625	7.308
9	426.0	427.444	4.771
10	426.0	427.300	4.734
11	426.0	427.182	3.499
12	426.0	427.083	6.621
13	426.0	427.000	4.792
14	426.0	426.929	6.264
15	426.0	426.867	4.105
16	426.0	426.812	8.486
17	426.0	426.765	4.780
18	426.0	426.722	5.612
19	426.0	426.684	5.437
20	426.0	426.650	2.326

Founded solution: 426.0 at iteration: 4

Fig. 13. Tour length results for eil51 instance

6.1 COMPARISON OF CONVERGENCE SPEED

In second experiment, the proposed approach is compared with DSMACS [7] in terms of convergence speed. In order to compare the proposed system with DSMACS, some instances of TSP that are the same as ones used in DSMACS are chosen. A comparison of the final solution and convergence number between the proposed algorithm (Improved ACO) and DSMACS are shown in Table 5.2 (the results of DSMACS are directly taken from Reference [7]). It can be seen that the performance of the proposed IACO algorithm is wonderful. It not only finds out the global optimal solutions for the following TSP instances but also has very quick convergence speed.

Table 1. Comparison of the final solution and convergence number between IACO and DSMACS

TSP Problem	Best length of IACO	Best length of DSMACS	Convergence number of IACO	Convergence number of DSMACS
eil51	426	426	4	5
berlin52	7542	7542	3	4
st70	675	N/A	3	N/A

6.2 COMPARISON EXPERIMENTS

For the purpose of demonstrating the efficiency of the improved ACO algorithm proposed in this paper, there have constructed a simulation and applied it to problems from TSPLIB library [8]: In this study the proposed algorithm results compare to the results of ACS algorithm in the aspects of algorithm convergence and experiment results. The ACS algorithm combines with local search. In all cases, the proposed algorithm shows better performance than the ant colony system algorithm.

Table 2. Tour Length Results and Relative Errors (deviation) on several TSP instances

TSP problems	Optimum (1)	IACO			ACS		
		Best length (2)	Average tour length	Relative errors (deviation) $((2)-(1))/(1)$	Best length (3)	Average tour length	Relative errors (deviation) $((3)-(1))/(1)$
ch130	6110	6123	6175.3	0.21%	6144	6200.6	0.56%
ch150	6528	6528	6573.9	0%	6548	6600.83	0.31%
d198	15780	15815	15894.03	0.22%	15900	15994.77	0.76%
kroB100	22141	22141	22183.33	0%	22146	22278.5	0.02%
kroC100	20749	20749	20789.6	0%	20753	20906.1	0.02%
kroD100	21294	21294	21379.6	0%	21309	21584.7	0.07%
kroE100	22068	22068	22135.77	0%	22116	22284.67	0.22%
kroA150	26524	26524	26806.5	0%	26820	27189.47	1.08%
pr76	108159	108159	108303.5	0%	108304	108723.4	0.13%
pr124	59030	59030	59110.67	0%	59076	59228.23	0.08%
pr152	73682	73682	73772.73	0%	73818	74243.67	0.18%
pr226	80369	80377	80628.16	0.01%	80524	80959.67	0.19%
rat195	2323	2339	2356.17	0.69%	2352	2379.27	1.25%

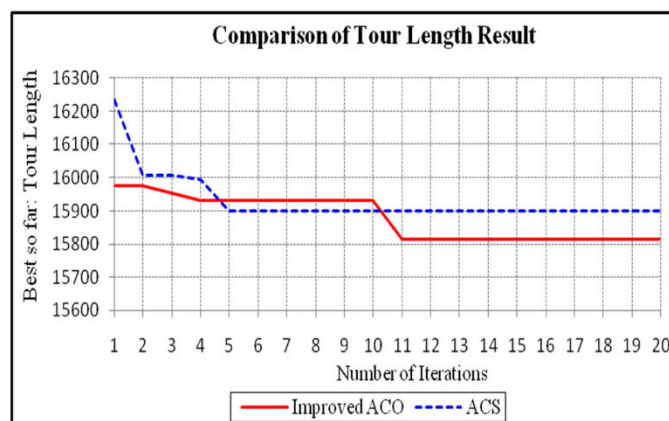
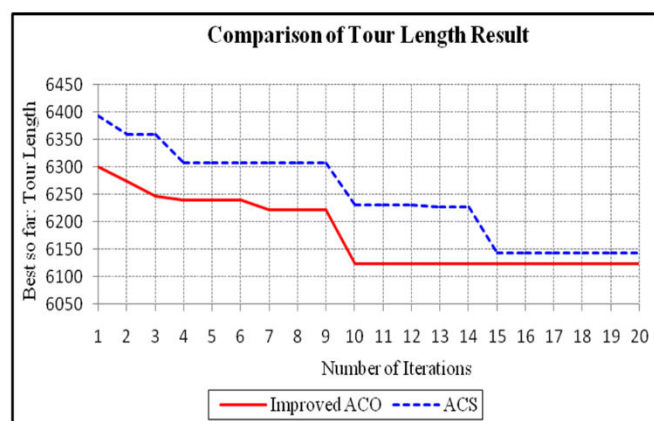


Fig. 14. Comparison of the tour length result of ch130 and d198

7 CONCLUSION

An algorithm based on the ACO approach called “Improved Ant Colony Optimization Algorithm” is designed and implemented to induce in combinatorial optimization problem as in travelling salesman problems. Compared to implementations of famous ant colony system, the implementations in this paper reduce the search space and computation time from the dynamic candidate list strategy and adapting parameter is applied to perform efficiently. Then, the resulted tours have been improved by the local search algorithm. The proposed algorithm showed many interesting features. It also meets the requirements of the research and figures out some new findings during the analysis. The proposed approach has proved to be better than using a single approach to solve a NP Complete problem like TSP. The solutions obtained for some instances of TSP, showed to be reaching to the optimum values. In some cases the solutions converged to the optimum values and some were very close to the optimum solutions. A very interesting observation seen was that time taken to find a solution was flexible.

ACKNOWLEDGEMENT

I would like to express my heartfelt thanks to all my teachers for their valuable advice, helpful comments, kindness support, and precious time for my research. Most importantly, none of this would have been possible without the love and patience of my family throughout my research. My heartfelt thanks also extend to all my colleagues and friends for their help, support, interest and valuable hints for discussions about research.

REFERENCES

- [1] A. Coloni, M. Dorigo, and V. Maniezzo, "An Investigation of some properties of an Ant Algorithm", Appeared in Proceedings of The Parallel Problem Solving from Nature Conference (PPSN 92), Brussels, Belgium, 1992, Elsevier Publishing, 509-520.
- [2] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Coloni, "The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents," IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics, Part B, Vol.26, pp. 29-41, 1996.
- [3] M. Dorigo and L. M. Gambardella, "Ant Colony System: A cooperative learning approach to the traveling salesman problem," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.1, No.1, April, 1997.
- [4] M. Dorigo and T. Stützle, "The Ant Colony Optimization Metaheuristic: Algorithms, Applications, and Advances", In: F. Glover and G. Kochenberger (Eds.), Handbook of Metaheuristics. Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [5] J-Luc. Ngassa, J. Kierkegaard, K. Helsgam, "ACO and TSP", Roskilde University, May 2007.
- [6] J. N. MacGregor and Y. Chu, "Human Performance on the Traveling Salesman and Related Problems: A Review", The Journal of Problem Solving, Volume 3, No. 2, 2011.
- [7] C-Xue. Wang, D.-Wu. Cui, Y-Kun. Zhang and Z-Rong. Wang, "A Novel Ant Colony System Based on Delauney Triangulation and Self-adaptive Mutation for TSP", International Journal of Information Technology Vol.12, No.3, 2006.
- [8] TSPLIB WebPage, <http://www.iwr.uniheidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLIB95/tsp/>
- [9] C-Mihaela Pinte, D. Dumitrescu, "Improving Ant System Using a Local Updating Rule", Proceedings of the Seventh International Symposium and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC'05), IEEE 2005.
- [10] J. Han, Y. Tian, "An Improved Ant Colony Optimization Algorithm Based on Dynamic Control of Solution Construction and Mergence of Local Search Solutions", Fourth International Conference on Natural Computation, IEEE, 2008.
- [11] T. Stützle and H.H. Hoos, "Max-Min Ant System", Future Generation Computer Systems 16(8): 889-914, 2000.
- [12] C-Mihaela Pinte, D. Dumitrescu, "Improving Ant System Using a Local Updating Rule", Proceedings of the Seventh International Symposium and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC'05), IEEE 2005.
- [13] H. Md. Rais, Z. A. Othman, A.R. Hamdan, "Improvement DACS3 Searching Performance using Local Search", Conference on Data Mining and Optimization, IEEE, 27-28 October 2009.
- [14] R. Gan, Q. Guo, H. Chang, Y. Yi, "Improved Ant Colony Optimization Algorithm for the Traveling Salesman Problems", Journal of Systems Engineering and Electronics, April 2010, pp 329-333.

Determination of Radiocarbon concentration ($\Delta^{14}\text{C}$) and CO_2 emitted by fossil fuels in Dakar region (SENEGAL) from tree leaves using mass balance equations

Matar Sène¹ and Maurice Ndeye²

¹Institute of Applied Nuclear Technology,
Cheikh Anta Diop University of Dakar,
Fann,
Senegal

²Radiocarbon Laboratory,
Institut Fondamentale d'Afrique Noire (IFAN),
Cheikh Anta Diop University of Dakar,
Fann,
Senegal

Copyright © 2019 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 work is to compare the local Suess effect in Dakar region to the global one during 20th century using tree leaves. Therefore, $\Delta^{14}\text{C}$ have been measured to give the variability in time. The curve obtained from this study compared to the global one used as reference is lower. The peak of curve for this study is 773‰ in 1964 where the one obtained in the same time by Nydal and Lovesth (1996) in Dakar is 800‰. These differences values are due to the local Suess effect corresponding to the emission of fossil fuel ($\text{CO}_{2\text{ff}}$) in the atmosphere. Fossil CO_2 ($\text{CO}_{2\text{foss}}$) is the major contributor of anthropogenic CO_2 to the atmosphere. In order to quantify these emissions the mass balance equations has been used allowing us to investigate the variability of the emissions. These analysis shows that $\text{CO}_{2\text{foss}}$ decreases in wooded areas and increases in non-wooded areas, i.e. in more industrialized areas.

KEYWORDS: Suess effect, fossil fuel CO_2 , $\Delta^{14}\text{C}$, radiocarbon.

1 INTRODUCTION

C-14 is a radionuclide the half-life of which is 5730 ± 30 years. It is naturally produced in the atmosphere's upper layer from nuclear reactions between cosmic neutrons and air molecules ([29], [5], [28]), particularly ^{14}N nitrogen. In addition to this production, we have anthropogenic origin of radiocarbon. First, there is the bomb effect ([1], [6]) which almost doubled the ^{14}C concentration ([12], [30], [31]) and the Suess effect which led to a depletion of the ^{14}C concentration in the atmosphere ([9],[3],[10],[19], [17],[16], [20],[24], [25], [27], [4]).

Once it is formed, with other carbon isotopes (C-13 and C-12), C-14 is incorporated into the biological and geochemical cycles of carbon and is assimilated by all living organisms in the form of carbon dioxide after oxidation of this radio-isotope with air molecules like oxygen mainly. In any case, the concentration of $^{14}\text{CO}_2$ in the atmosphere can no longer be accepted as a constant, because the prevailing level of CO_2 will depend on the anthropogenic influence of modern times. So it has varied. Due to the high population demand for energy, the combustion of fossil fuels such as oil, gas, coal, etc. releases enormous quantities of CO_2 into the atmosphere. The consequence is a decrease in the carbon-14 concentration and an increase in the $^{14}\text{CO}_2$ concentration ([19],[17],[16],[20],[24],[25],[27],[4]) in the different carbon reservoirs. Today this phenomenon is much more caused by industrial complexes, the transport sector, the high human density in cities and other sources based on fossil fuel consumption.

Tree rings, leaves and short-lived plants (e. g. seasonal plants) assimilate carbon from the air during photosynthesis, so they better reflect changes in radiocarbon concentration ([27]) in the atmosphere and provide a good sample to better quantify the fossil fuel component of CO_2 in the atmosphere and the radiocarbon concentration.

In this investigation, the isotope ^{14}C is in use to estimate CO_2 in fossil fuel in an atmospheric sample. We first determined the radiocarbon concentration $\Delta^{14}\text{C}$ value of the samples in an attempt to better quantify the fossil contribution of CO_2 concentration in the atmosphere by using the mass balance equation.

2 SITES AND METHODS

2.1 SITES

Samples come from the Dakar region. We chose this locality, which is the capital of Senegal, because it is by far the most populated (23.2% of the country's total population and a density of around 5739 inhabitants per square kilometer) and the most industrialized (80% of the national sector) according to data from www.ands.sn.

The transport sector contributes significantly to air pollution in Senegal. Its gas emissions undoubtedly have serious impacts on urban air quality, particularly in Dakar and consequently on the health of populations later on. The concentration and poor condition of vehicles, due to their age, are sources of pollution. The vehicle fleet is ageing and constantly increasing.

Senegal is a country at the end of West Africa. It is bordered by the Atlantic Ocean to the West, Mauritania to the North, Mali to the East, Guinea and Guinée-Bissau to the South. Its geographical coordinates are: Latitude: $14^\circ 41' 37''$ North and Longitude: $17^\circ 26' 38''$ West.

This locality, which is densely populated, highly industrialized and with an accelerated growth of the land or air transport sector, is highly exposed to several forms of pollution such as PM_5 and PM_{10} , VOCs, methane, carbon monoxide (CO) and carbon dioxide CO_2 etc.

The focus of our study is on the contamination of air in the atmosphere by fossil CO_2 from fossil sources. Overall, we have selected five major sites (Table 1). The samples we treated are herbaceous or woody plants dating from 1960 to 2009.

We chose two types of sites: two wooded sites (UCAD Botanic Garden and Mbao Forest) and two other non-wooded sites (SAR Factory and Beach on the western cornice of Dakar).

Table 1. Sites, year of collection, geographical coordinates, species and laboratory code of samples

Sites	Year of collection	Geographical coordinates	Species	Code Labo
UCAD Botanic Garden	1970	$14^\circ 41' \text{N}$, $17^\circ 27' \text{W}$	<i>Indigifera Costata</i>	DK39
	1979	$14^\circ 41' \text{N}$, $17^\circ 28' \text{W}$	<i>Indigifera Costata</i>	DK40
	1990	$14^\circ 41' \text{N}$, $17^\circ 30' \text{W}$	<i>Nérrium Oleander</i>	DK41
	2000	$14^\circ 41' \text{N}$, $17^\circ 32' \text{W}$	<i>Nérrium Oleander</i>	DK42
Mbao Forest	1960	$14^\circ 45' \text{N}$, $17^\circ 18' \text{W}$	<i>Cyperus Esculentus</i>	AA92997
	1966	$14^\circ 46' \text{N}$, $17^\circ 18' \text{W}$	<i>Crotalaria Retusa Cyperus</i>	AA93000 DK44
	2007	$14^\circ 45' \text{N}$, $17^\circ 18' \text{W}$	<i>Esculentus</i>	
SAR Factory	1964	$14^\circ 44' \text{N}$, $17^\circ 20' \text{W}$	<i>Lactuca Aspera</i>	AA92999
	2005	$14^\circ 44' \text{N}$, $17^\circ 20' \text{W}$	<i>Lactuca Intybacea</i>	DK43
Beach	1981	$14^\circ 46' \text{N}$, $17^\circ 23' \text{W}$	<i>Indigofera Coptica</i>	AA93002
	1998	$14^\circ 46' \text{N}$, $17^\circ 23' \text{W}$	<i>Ipomoca Coptica</i>	AA93003
	2009	$14^\circ 46' \text{N}$, $17^\circ 23' \text{W}$	<i>Ipomoca Coptica</i>	DK45

2.2 METHODS

At the very beginning, our sample undergoes physical pre-treatment. The physical pre-treatments have been made to eliminate all physical impurities present in the sample before carrying out the chemical treatments. Physical pretreatment is generally a manual process that is often less complicated.

The chemical pretreatments that we performed for our samples are routine acid-base-acid. The samples were washed in distilled water and treated with hydrochloric acid solution 0.5 M and then these samples were rinsed with distilled water. Then we make an attack with a NaOH sodium hydroxide solution 0.1M. After about one hour, we rinse the samples with distilled water and then make a new acid attack. Then, the samples were washed again with distilled water and dried in a dryer at a temperature of about 30°C.

Then we progress to the stage of benzene synthesis. Benzene synthesis consists of three parts: the sample carburizing step, acetylene synthesis and acetylene trimerization to obtain benzene.

This entire reaction chain is carried out on a synthesis bath of benzene in use in our laboratory. Then we move on to the counting stage. We use a conventional method with a liquid scintillation counter (Tricarb 3170TR / SL) with a super low level option. In order to minimize background interference and discriminate against legitimate beta events (β), the Tricarb 3170TR / SL is equipped with a bismuth and germanium detector as well as a peak analyzer.

Standardization is performed routinely to see the electronic stability of the counting system. The optimization of the counting zone has been done to maximize the merit factor (E^2 / B) where E is the counting efficiency and B is the background counting rate, this type of counter is equipped with a SNC (Self Normalization and Calibration) cassette. These samples are coded DKxx. Some parts of our samples were measured by Accelerator Mass Spectrometry by the NSF-Arizona Physics Laboratory in the United States. These samples are coded AAXx Arizona AMS).

3 RESULTS AND DISCUSSION

Then we discuss the radiocarbon measurement results obtained from our measurement sites. For $\Delta^{14}\text{C}_{\text{mes}}$ values we have use the formula $\Delta^{14}\text{C} = (Fe^{\lambda(1950-y)} - 1)1000$ (before 1950) or $\Delta^{14}\text{C} = [Fe^{\lambda(y-1950)} - 1]$ (after 1950). And

Fraction of modern carbon $F^{14}\text{C}$ of sample are obtained according to $F^{14}\text{C} = \frac{A_{\text{SN}}}{A_{\text{STD}}}$.

In the following table (**Table2**) we show the values of $\Delta^{14}\text{C}_{\text{mes}}$ and $\Delta^{14}\text{C}_{\text{bg}}$. For $\Delta^{14}\text{C}_{\text{bg}}$, we have choosen Mauna Loa (MLO) as background, in order to compare the radiocarbon concentration of sample and that of clean area.

We chose the measurement data from the Mauna Loa station in Hawaii (United States of America) (Globalview-CO₂-2010) because this site according to [2], is in the same hemisphere as Senegal (NH Zone 2). Countries in the same hemisphere have approximately the same level of background. And moreover, we take $\delta^{13}\text{C} = -25 \text{ ‰}$ for our samples.

Table 2. Modern Fraction of Carbon F, $\Delta^{14}\text{C}_{\text{mes}}$ and $\Delta^{14}\text{C}_{\text{bg}}$ per year

Samples	Year	F	$\Delta^{14}\text{C}_{\text{mes}}$ (‰)	$\Delta^{14}\text{C}_{\text{bg}}$ (‰)
UCAD Botanic Garden	1970	1,518±0,005	522±6	556
	1979	1,301±0,005	306±5	326
	1990	1,181±0,005	187±5	190
	2000	1,084±0,006	91±6	100
Mbao Forest	1960	1,182±0,005	184±5	235
	1966	1,674±0,006	677±5	735
	2007	1,052±0,005	60±6	75
SAR Factory	1964	1,770±0,008	773±5	800
	2005	1,07±0,006	71±6	90
Beach	1981	1,272±0,051	277±5	277
	1998	1,103±0,006	110±5	115
	2009	1,049±0,005	49±6	70

In the following figure we compare the concentration of radiocarbon obtained from our samples with its concentration in a clean air environment (Background).

We have represented these two curves of variations in the same graph.

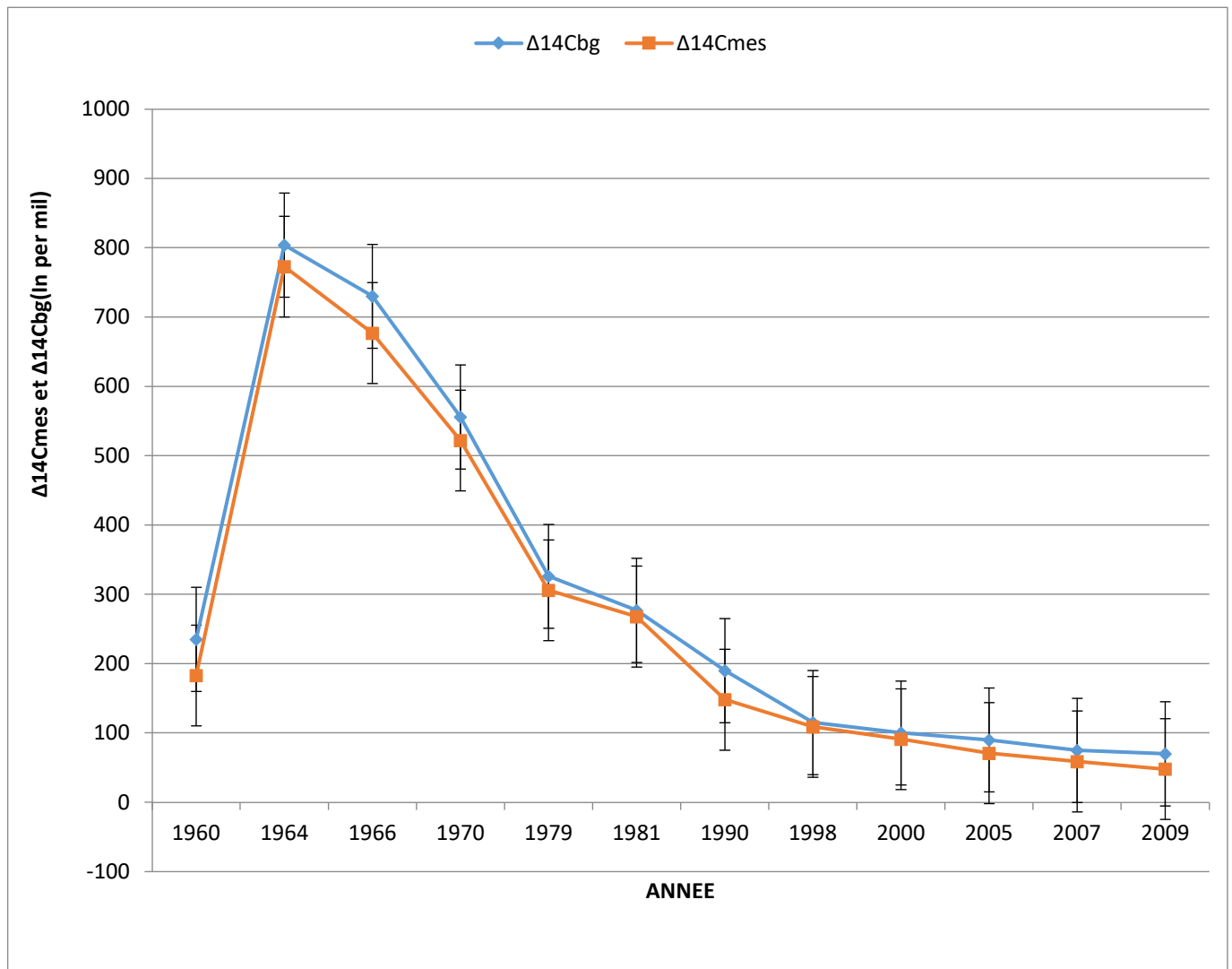


Fig. 1. Comparison of concentrations $\Delta^{14}C_{mes}$ and $\Delta^{14}C_{bg}$. Values are in per mil.

Figure 2 shows the variations of $\Delta^{14}C$ in tree leaves and the variations of $\Delta^{14}C$ in a clean air environment between 1960 and 2009. There is a difference between the values of the measured radiocarbon concentration $\Delta^{14}C_{mes}$ and those of the ^{14}C concentration $\Delta^{14}C_{bg}$ in a clean zone.

Our graph consists of two parts:

- From 1958 to around 1964, corresponding to the time the bombs occurred when the values of $\Delta^{14}C$ increased regularly until they reached a value of $773 \pm 5\%$. This increase in the level of $\Delta^{14}C$ is due to Nuclear tests and weapons. ([8], [4])
- From 1968 to 2009, there was a decrease in the ^{14}C level until 70%. This drop in level is due to fossil fuels used by man ([27],[6], [20],[4]).

Atmospheric data from other sites (Nydal and Lovseth 1996) show a peak of 817 ± 23 ‰ in 1964. Compare to our results, we have 773 ± 8 ‰ in the same date. According to this graph, it can be noted that the concentration of ^{14}C in "clean" air is generally higher than the concentration of ^{14}C in an environment supposed to be a "polluted" area given in Dakar. The difference is due to the Suess effect.

We will now determine the fossil CO_2 concentration from the mass balance equation.

Now let's remind the mass balance equation.

From a quantitative and material conservation, for a given material sample, we can assume these following relations:

$$[\text{CO}_2]_{\text{total}} = [\text{CO}_2]_{\text{bg}} + [\text{CO}_2]_{\text{bio}} + [\text{CO}_2]_{\text{foss}} \quad (1)$$

$$[\text{CO}_2]_{\text{total}} \Delta^{14}\text{C}_{\text{total}} = [\text{CO}_2]_{\text{bg}} \Delta^{14}\text{C}_{\text{bg}} + [\text{CO}_2]_{\text{bio}} \Delta^{14}\text{C}_{\text{bio}} + [\text{CO}_2]_{\text{foss}} \Delta^{14}\text{C}_{\text{foss}} \quad (2)$$

To design the model for the equation that will allow us to find the local Suess effect caused by fossil fuels, as several authors such as ([12], [18], [2]) have done, we have combined the relationships (1) and (2).

By substituting equations (1) and (2) we can obtain the fossil CO_2 component ($\text{CO}_{2\text{foss}}$) that we can, without any approximation write in this way :

$$[\text{CO}_2]_{\text{foss}} = [\text{CO}_2]_{\text{bio}} \frac{\Delta^{14}\text{C}_{\text{bio}} - \Delta^{14}\text{C}_{\text{total}}}{\Delta^{14}\text{C}_{\text{total}} - \Delta^{14}\text{C}_{\text{foss}}} + [\text{CO}_2]_{\text{bg}} \frac{\Delta^{14}\text{C}_{\text{bg}} - \Delta^{14}\text{C}_{\text{total}}}{\Delta^{14}\text{C}_{\text{total}} - \Delta^{14}\text{C}_{\text{foss}}} \quad (3)$$

To establish the mass balance equation, we will consider these approximations used by several authors like ([12], [14], [12], [7], [32], [18], [25]) and available in the literature. These approximations make perfect sense.

- Fossil carbon dioxide $\text{CO}_{2\text{foss}}$ is free of significant amounts of radiocarbon, as fossil materials are several billion years old, a period of time long enough for the total amount of radiocarbon contained in these fossil organic materials to be removed. So we can assume that $\Delta^{14}\text{C}_{\text{foss}} = -1000$ ‰
- C-14 biogenic concentration $\Delta^{14}\text{C}_{\text{bio}}$ is equal to the C-14 concentration in the background $\Delta^{14}\text{C}_{\text{bg}}$ because the main flow of the biosphere comes from autotrophic respiration (it has not been affected by fossil fuel contribution) and we can write: ($\Delta^{14}\text{C}_{\text{bio}} = \Delta^{14}\text{C}_{\text{bg}}$)

Taking into account, these two approximations we can have:

$$CO2_{foss} = CO2_{mes} \frac{(\Delta^{14}C_{bg} - \Delta^{14}C_{mes})}{\Delta^{14}C_{bg} + 10^3} \quad (4)$$

We will use this formula, in the following to find to determine the Suess effect of each sample used.

The results obtained for our different samples are recorded in the following table:

Table 3. Sites, year of sample, and fossil CO₂ value of the sites

Samples	Year	CO _{2mes} (ppm)	Δ ¹⁴ C _{bg} (‰)	Δ ¹⁴ C _{site} (‰)	CO _{2ff} (ppm)
UCAD Botanic Garden	1970	325,68	556	522	7,1
	1979	336,84	326	306	5,1
	1990	354,39	190	187	2,7
	2000	369,55	100	91	3
Mbao Forest	1960	316,91	235	184	13,3
	1966	321,28	735	677	10,7
	2007	383,79	75	60	5,3
SAR Factory	1964	319,62	804	773	5,5
	2005	379,8	90	71	6,6
Beach	1981	340,11	277	268	2,4
	1998	366,7	115	110	1,9
	2009	387,43	70	49	7,6

Radiocarbon (¹⁴C) in atmospheric CO₂ in the Dakar urban area (Senegal) was measured using tree leaves. The first objective of our study was to evaluate the local Suess effect in Dakar and to compare the concentration of ¹⁴C measured in a sample of tree leaves with that of ¹⁴C in a "clean" air environment.

Then in a second step, after determining the fossil CO_2 concentration, we compared our results with those of the World Bank data on fossil CO_2 emissions (in metric tons per capita) in Senegal during the same period from 1960 to 2009.

1. Carbon dioxide emissions are emissions from the combustion of fossil fuels and the manufacture of cement. They include carbon dioxide emissions produced during the consumption of solid, liquid or gaseous fuels and flaring.
2. The values of fossil CO_2 emissions (in metric tons per capita) in Senegal come from the Centre d'analyse des informations relatives au dioxyde de carbone, division des Sciences de l'environnement, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, USA.

Table 4. CO_2 fossile (in ppm) and CO_2 (in metric tons per capita)

ANNEE	$\text{CO}_{2\text{foss}}$ (in ppm)	CO_2 (in metric tons per capita)
1960	13,3	0,258
1964	5,5	0,258
1966	10,7	0,454
1970	7,1	0,307
1979	5,1	0,533
1981	2,4	0,574
1990	2,7	0,423
1998	1,9	0,367
2000	3	0,402
2005	6,6	0,524
2007	5,3	0,443
2009	7,6	0,372

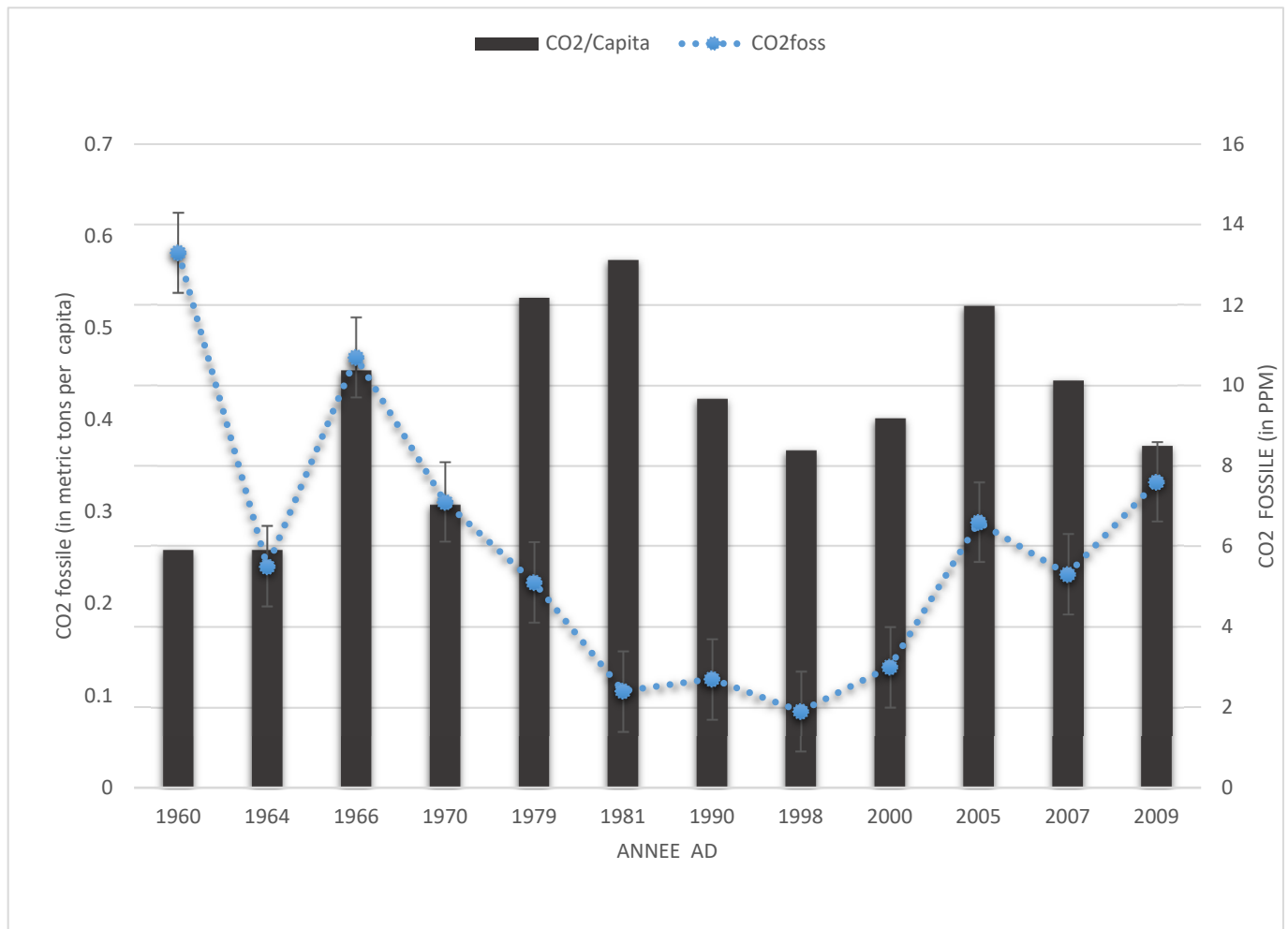


Fig. 2. Comparison of fossil CO_{2ff} values (in ppm) from our samples and fossil CO_2 values (in metric tons per capita) from 1960 to 2009

Below is the graph of the formal comparison of the fossil CO_2 values of our samples and the CO_2 values in metric tons per inhabitant relative to the World Bank data.

From a form standpoint, both curves look the same.

As the quantities issued do not have the same unit, it will be possible to compare them from a formal point of view.

[10], [18], [19], [16], [24], [27], [20], [4] have shown this phenomenon through different studies at different times. Today, this phenomenon is caused, most often, by industrial complexes, the transport sector, the high human density in the cities and other sources based on the consumption of fossil fuel.

In order to show the reliability of our results, we have compared our results, namely the comparison of the point of shape and shape, of the curve of variation of fossil CO_2 emissions per inhabitant with that of the World Bank data concerning fossil CO_2 emissions (in metric tons per inhabitant) of Senegal during the same period from 1960 to 2009.

It can be said that the overall variations in CO_2 emissions from calculated fossil fuels are consistent with those of the World Bank data.

However, there are a few moments when we observe a reduction of fossil CO_2 in our calculations while we notice the reverse phenomenon at the level of data from the World Bank. This difference is explained by the fact that our values concern fossil emissions of specific points in the Dakar region, where as the World Bank data concern the global averages of Senegal. It may also be noted that the influence of the different methods of measurement and their units of values which are not the same, is a non-negligible factor.

If we had measurements of CO_2 emissions per metric ton per inhabitant, only in the Dakar region, the calculated fossil CO_2 values would be closer to the measured fossil CO_2 values.

4 CONCLUSION

The objective of this work was to implement the radiocarbon dating method to measure fossil CO_2 emissions in urban areas of Senegal.

To do this quantification we used the radiocarbon dating method also using a TriCarb 3170/R liquid scintillation counter in super Low Level mode. The samples we worked with were tree leaves because these plants better reflect the contamination of "pure" air by CO_2 from the atmosphere.

The concentrations of fossil CO_2 ($\text{CO}_{2\text{foss}}$) found in our samples are in agreement with those available in the datawordbank.org database of the World Bank for Senegal. Although the units are not the same, parts per million (ppm) for our results and metric tons for World Bank values.

The results found show a decrease in radiocarbon concentration and an increasing increase in the amount of CO_2 in the atmosphere.

REFERENCES

- [1] Nydal R. and Lövseth, K.: 1983. Tracing bomb ^{14}C in the atmosphere 1962-1980. *Journal of Geophysical Research* 88(C6): 3621-35.
- [2] Quan Hua, "Review of tropospheric bomb ^{14}C data for carbon cycle modeling and age calibration purposes" *Radiocarbon*, Vol 46, Nr 3, 2004, p 1273–1298, 2004
- [3] Tans, P. P.: 1981. A Compilation of Bomb ^{14}C Data for Use in Global Carbon Model Calculations, in: SCOPE 16 Carbon Cycle Modelling, edited by: Bolin, B., John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- [4] Baydoun R, Omar El Samad, Bilal Nsouli et Ghassan Younes, "Measurement of ^{14}C content in leaves near a cement factory in Mount Lebanon, " *Radiocarbon*, Vol 57, Nr 1, p 153–159 ,2015.
- [5] Castagnoli G and D Lal, :1980. Solar modulation effects in terrestrial production of carbon-14. *Radiocarbon* 22 : 133-158.
- [6] Diane E. Pataki, James T. Randerson, Wenwen Wang, MaryKay Herzenach, and Nancy E. Grulke. : 2010. The Carbon Isotope Composition of Plants and Soils as Biomarkers of Pollution. Springer Science+ Business Media B.V. 2010.
- [7] Gamnitzer U, Ute Karstens, Bernd Kromer, Rolf E. M. Neubert, Harro A. J. Meijer, Hartwig Schroeder, and Ingeborg Levin : 2006. Carbon monoxide: A quantitative tracer for fossil fuel CO_2 . *Journal of Geophysical Research*, vol. 111.
- [8] Hua Q, Mike Barbetti, Andrzej Z Rakowski : 2013. Atmospheric radiocarbon for the period 1950–2010. *Radiocarbon*, Vol 55, Nr 4, 2013, pp 2059–207
- [9] Keeling C D, Mook, W G and Tans, 1967 Recent trends in the $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio of atmospheric carbon dioxide. *Nature* 277: 121-123.

- [10] Kuc T, Zimnoch M, "Changes of the CO_2 sources and sinks in a polluted urban area (Southern Poland) over the last decade, derived from the carbon-isotopic composition," Radiocarbon, Vol 40, Nr 1, p 417–423, 1998.
- [11] Levin I and Vago Hesshaimeir : 2000. Radiocarbon – a unique tracer of global carbon cycle dynamics. Radiocarbon, Vol 42, Nr 1, 2000, p 69–80
- [12] Levin I, Bernd Kromer, Martina Schmidt, and Hartmut Sartorius : 2003. A novel approach for independent budgeting of fossil fuel CO_2 over Europe by $^{14}\text{CO}_2$ observations. Geophysical Research Letters, Vol. 30, NO. 23, 2194.
- [13] Levin I, Kromer B. :1997. Twenty years of atmospheric $^{14}\text{CO}_2$ observations at Schauinsland station, Germany. Radiocarbon 39(2):205–18.
- [14] Levin I: 2004. The tropospheric $^{14}\text{CO}_2$ level in mid-latitudes of the Northern Hemisphere (1959–2003). Radiocarbon, Vol 46, Nr 3, DSS, p 1261–1272.
- [15] Levin, I., H. Glatzel-Mattheier, T. Marik, M. Cuntz, M. Schmidt, and D. E. Worthy : 1999. Verification of German methane emission inventories and their recent changes based on atmospheric observations, J. Geophys. Res., 104(D3), 3447–3456.
- [16] M Molnár, L Haszpra, É Svingor ; I Major et Svetlik, "Atmospheric fossil fuel CO_2 measurement using a field unit in a central European City during the winter of 2008/09,". Radiocarbon, Vol 52, Nr 2–3, p 835–845, 2010
- [17] Pawełczyk S, Pazdur A, Hałas S : 2004. Stable carbon isotopic composition of tree Rings from a pine tree from Augustów Wilderness, Poland, as temperature and local environment conditions indicator. Isotopes in Environmental and Health Studies 40(2):145–54.

- [18] Pazdur Anna, Tadeusz Kuc, Sławomira Pawełczyk, Natalia Piotrowska, Barbara Sensusza, Kazimierz Rozanski :2013. Carbon isotope composition of atmospheric carbon dioxide in Southern Poland: Imprint of anthropogenic CO₂ emissions in regional biosphere. Radiocarbon, Vol 55, Nr 2–3, 2013, p 848–864
- [19] Rakowski Andrzej Z, Nakamura T and Pazdur A, "Changes of radiocarbon concentration in modern wood from Nagoya, central Japan," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B 223-224: 507-510, 2004b.
- [20] Rakowski Andrzej Z, Toshio Nakamura, Anna Pazdur et John Meadows : 2013. Radiocarbon concentration in annual tree rings from the Salamanca region, Western Spain. Radiocarbon, Vol 55, Nr 2–3, 2013, p 1533–1540
- [21] Rakowski Andrzej Z, Kuc T, Nakamura T and Pazdur A. : 2004a. Radiocarbon Concentration in the Atmosphere and Modern Tree Rings in the Kraków Area, Southern Poland. Radiocarbon 46(2): 911-916.
- [22] Rakowski Andrzej Z, Nadeau M-J, Nakamura T, Pazdur A, Pawełczyk S, Piotrowska N. : 2012. Radiocarbon method in environmental monitoring of CO₂ emission. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 294 : 503–7.
- [23] Rakowski Andrzej Z, Nakamura T, Pazdur A, Charo E, Gutierrez- Villanueva JL, Piotrowska N.2010. Radiocarbon concentration in modern tree rings from Valladolid, Spain.Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 268(7–8):1110–2.
- [24] Rakowski Andrzej Z., Tadeusz Kuc, Toshio Nakamura and Anna Pazdur, "Radiocarbon concentration in urban area,"Geochronometria: Journal on Methods and Applications of Absolute Chronology Vol. 24, pp 63-68, 2005.
- [25] Rakowski Andrzej Z., Toshio Nakamura, Anna Pazdur : 2008. Variations of anthropogenic CO₂ in urban area deduced by radiocarbon concentration in modern tree rings. Journal of Environmental Radioactivity 99 (2008) 1558 -1565.

- [26] Rakowski AZ, Pawełczyk S, Pazdur A. : 2001. Changes of ^{14}C concentration in modern trees from Upper Silesia region, Poland. Radiocarbon 43(2B):679–89.
- [27] Rakowski Andrzej Z.: 2011. Radiocarbon method in monitoring of fossil fuel emission. Geochronometria 38(4) 2011: 314-324.
- [28] Serge A Korff and Rosalind B Mendell : 1980. Variations in radiocarbon production in the Earth's Atmosphere. Radiocarbon, Vol 22, No. 2, 1980, P 159-165
- [29] Taylor R E: 1987. Radiocarbon Dating: An Archeological Perspective. United Kingdom Edition published by Academic Press INC. (London) LTD.24-28, Oval Road, London
- [30] Turnbull J, Peter Rayner, John Miller, Tobias Naegler, Philippe Ciais, and Anne Cozic : 2009. On the use of $^{14}\text{CO}_2$ as a tracer for fossil fuel CO_2 : Quantifying uncertainties using an atmospheric transport model. Journal of Geophysical Research, Vol. 114.
- [31] Turnbull JC, Lehman SJ, Miller JB, Sparks RJ, Southon JR, Tans PP : 2007. A new high precision $^{14}\text{CO}_2$ time series for North American continental air. Journal of Geophysical Research 112.
- [32] Weijian Zhou, Shugang Wu, Wenwen Huo, Xiaohu Xiong, Peng Cheng, Xuefeng Lu and Zhenchuan Niu : 2014. Tracing fossil fuel CO_2 using $\Delta^{14}\text{C}$ in Xi'an City, China. Atmospheric Environment (94) 538 – 545.

Effet de la liane envahissante *Sericostachys scandens* Gilg & Lopr. (Amaranthaceae) sur la structure spatiale et le recrutement des espèces végétales ligneuses du Parc National de la Kibira au Burundi

[Effect of the invasive liana *Sericostachys scandens* Gilg & Lopr. (Amaranthaceae) on the spatial structure and recruitment of woody plant species within Kibira National Park in Burundi]

Richard Habonayo¹⁻², Akomian Fortuné Azihou³, Gbèwonmèdèa Hospice Dassou¹, Mathias Hitimana⁴, Aristide Cossi Adomou¹, and Bernadette Habonimana²

¹Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences et Techniques, 01 B.P 4521 Cotonou, Benin

²Département des Sciences et Technologies de l'Environnement, Université du Burundi, Faculté d'Agronomie et de Bio-Ingénierie, B.P 2940 Bujumbura, Burundi

³Laboratoire d'Ecologie Appliquée, Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, 01 BP 526 Cotonou, Benin

⁴Département de Biologie, Université du Burundi, Faculté des Sciences, BP 2700 Bujumbura, Burundi

Copyright © 2019 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: Lianas play an important role in several aspects of forest dynamics. This study aims to (1) compare the spatial distribution of woody species between invaded and non-invaded areas by *Sericostachys scandens* and (2) assess the effect of the density of adult trees of a given species and woody regeneration and young tree stages of other species on the recruitment of the target woody species in both invaded and non-invaded areas by *S. scandens* within Kibira National Park (KNP) in Burundi. The abundance of woody species (regeneration, young trees, adult trees) was measured in 100 plots of 50 m × 50 m each, evenly distributed in the invaded areas and the non-invaded ones. The analysis of the spatial distribution of woody species was carried out through the computation of the Green index. A multiple regression was performed to test the effect of conspecific adults trees density and the average density of heterospecific woody regeneration and young tree on recruitment of woody species. The Green index values showed that all woody species had a random spatial distribution, regardless of *S. scandens* invasion. Overall, the density conspecific adults' trees have a positive or insignificant effect on regenerations and young trees in both invaded and non-invaded areas. New studies focused on the influence of abiotic and biotic factors of the areas are essential for a thorough understanding of the distribution of KNP woody species and the mechanisms of their coexistence.

KEYWORDS: Liana, spatial distribution, Janzen-Connell effect, recruitment, tree, moist mountain forest, Burundi.

RESUME: Les lianes jouent un rôle important dans plusieurs aspects de la dynamique des forêts. Cette étude vise à (1) comparer la distribution spatiale des espèces ligneuses entre les milieux envahis et ceux non envahis par *Sericostachys scandens* et (2) évaluer l'effet de la densité des arbres adultes d'une espèce donnée et des ligneux des stades régénération et jeune arbre des autres espèces sur le recrutement de l'espèce ligneuse ciblée aussi bien en milieux envahis qu'en milieux non envahis par *S. scandens* dans le Parc National de la Kibira au Burundi. L'abondance des espèces ligneuses (régénération, jeunes arbres, arbres adultes) a

été mesurée dans 100 placeaux de 50 m x 50 m équitablement répartis entre les milieux envahis et ceux non envahis. L'analyse de la distribution spatiale des espèces ligneuses a été réalisée à travers le calcul de l'indice de Green. Une régression multiple a été utilisée pour tester l'effet de la densité des arbres adultes de l'espèce et de la densité moyenne des ligneux des stades régénération et jeune arbre des autres espèces sur le recrutement des espèces ligneuses. Les valeurs de l'indice de Green ont montré que les espèces étudiées sont caractérisées par une distribution spatiale aléatoire, indépendamment de l'envahissement ou non du milieu par *S. scandens*. Globalement, la densité des arbres adultes de l'espèce a un effet positif ou non significatif sur la densité de la régénération et la densité des jeunes arbres tant en milieux envahis qu'en milieux non envahis. De nouvelles études orientées vers l'influence des facteurs abiotiques et biotiques du milieu sont essentielles pour une compréhension approfondie de la distribution des espèces ligneuses du PNK et des mécanismes de coexistence de celles-ci.

MOTS-CLEFS: Liane, distribution spatiale, effet de Janzen-Connell, recrutement, arbre, forêt ombrophile de montagne, Burundi.

1 INTRODUCTION

Les mécanismes permettant la coexistence des espèces restent mal connus, en particulier dans les communautés riches en espèces telles que les forêts tropicales [1]. Un important mécanisme sous-tendant le maintien de la diversité des espèces se rapporte à l'hypothèse de Janzen-Connell [2]. Cette hypothèse stipule que les prédateurs de semences, les herbivores et les pathogènes spécifiques à une espèce donnée ont une abondance plus élevée à proximité des plantes mères ou dans les zones à forte densité des individus de l'espèce [3-4]. En conséquence, la probabilité de survie de nouveaux individus à proximité de leur semencier est plus faible qu'à une distance plus élevée [5]. L'existence d'un effet densité et d'un effet distance a été mis en évidence en forêts tropicales et en forêts tempérées [6].

Outre l'hypothèse de Janzen-Connell, les lianes apportent de nouvelles informations sur les mécanismes qui contrôlent la distribution des plantes et le maintien de la diversité dans les forêts tropicales [7] où elles infestent communément plus de 70 % des arbres de la canopée [8-10] et ont un impact négatif sur les arbres en limitant le recrutement des plantules [11-12], en diminuant la croissance et la fécondité des arbres [12-13] et en augmentant leur mortalité [9] à travers la compétition avec les arbres pour des ressources limitées et la création des contraintes mécaniques [14-18].

Dans les forêts tropicales africaines, *Sericostachys scandens* Gilg & Lopr. (Amaranthaceae), une liane envahissante, présente des conséquences spectaculaires et catastrophiques pour la durabilité des forêts de l'Afrique centrale et orientale où elle est largement distribuée [19]. En effet, cette liane tue ses arbres hôtes par étouffement et crée ainsi de grandes trouées où elle inhibe la régénération dans le Parc National de Kahuzi-Biega en République Démocratique du Congo [19-20]. Elle cause des dégâts similaires dans le Parc National de Nyungwe au Rwanda [21] et dans le Parc National Impénétrable de Bwindi en Ouganda [22].

Au Burundi, le Parc National de la Kibira (PNK) connaît également des transformations du couvert végétal dues à la prolifération de *S. scandens* [23-25]. En effet, *S. scandens* constitue une menace particulière pour la biodiversité du PNK autant que la déforestation: en se développant, elle couvre toutes les autres espèces, surtout ligneuses (les grands arbres), les étouffent en les empêchant d'accéder à la lumière et ces derniers finissent par sécher et tomber [23]. Explorant les effets de *S. scandens* sur la structure forestière et les espèces ligneuses selon leurs stades de développement, [25] ont montré que l'expansion de cette liane affecte négativement les paramètres dendrométriques des peuplements ligneux (densité, diamètre, hauteur et surface terrière). En outre, ces auteurs ont indiqué que non seulement *S. scandens* influence négativement toutes les espèces ligneuses, quelle que soit leur taille, mais aussi a un effet négatif sur la densité de tous les stades démographiques de celles-ci.

L'objectif global de cette étude est d'analyser l'effet de l'envahissement de *S. scandens* sur la structure spatiale et le recrutement des espèces ligneuses du PNK, le plus grand massif forestier du Burundi. En effet, la structure spatiale d'un peuplement ligneux renseigne sur les processus écologiques ayant affectés le peuplement et constitue une base de prédiction des processus écologiques qui se dérouleront dans le futur [26]. L'étude de la structure spatiale des peuplements ligneux du PNK en relation avec l'invasion de *S. scandens* fournira des informations scientifiques sur la modification de la distance plante-plante et ses implications pour la coexistence des espèces ligneuses en forêt ombrophile de montagne. Ainsi, les objectifs spécifiques de cette recherche sont de (1) comparer la distribution spatiale des espèces ligneuses entre les milieux envahis et ceux non envahis par *S. scandens*, et (2) d'évaluer l'effet de la densité des arbres adultes d'une espèce donnée et des ligneux des stades régénération et jeune arbre des autres espèces sur le recrutement de l'espèce ligneuse ciblée aussi bien en milieux envahis qu'en milieux non envahis par *S. scandens*. Pour atteindre ces objectifs, les hypothèses suivantes ont été formulées:

(i) en raison de l'impact négatif des lianes sur les peuplements ligneux, il est possible que l'envahissement de *S. scandens* entraîne une variation de la structure spatiale des ligneux entre les milieux envahis et ceux non envahis, (ii) compte tenu de l'effet négatif de l'invasion de *S. scandens* sur la densité des arbres, il est plausible que l'effet de Janzen-Connel soit beaucoup plus perceptible en milieux non envahis qu'en milieux envahis.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU D'ETUDE

Le PNK est situé au nord-ouest du Burundi sur la crête Congo-Nil (figure 1). Il s'étend de Bugarama au sud jusqu'à la frontière rwandaise au nord où il se prolonge par la forêt de Nyungwe au Rwanda [27]. Il se localise entre 2°36'52" et 3°17'08" de latitude Sud et entre 29°13'31" et 29°39'09" de longitude Est. Son altitude varie entre 1600 et 2666 m [28]. D'une superficie de 40.000 ha avec une longueur de plus ou moins 80 km et une largeur moyenne de 8 km [29], il constitue le principal massif forestier du pays repris dans la catégorie II de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (Parc National) comprenant des aires protégées à des fins de loisirs et servant d'échantillons de l'histoire de l'évolution naturelle des écosystèmes [30]. Il s'étend sur quatre provinces, à savoir Muramvya et Kanyanza à l'est d'une part et Bubanza et Cibitoke à l'ouest d'autre part, couvrant les communes Muramvya, Bukeye, Matongo, Muruta, Kabarore, Musigati, Rugazi, Bukinanyana et Mabayi. Le PNK est subdivisé en quatre blocs ou secteurs: Teza (5794 ha), Rwegura (12424 ha), Mabayi (6359 ha) et Musigati (15424 ha) [31].

Le relief du PNK est caractérisé par des pentes vives de part et d'autre de la Crête Congo-Nil, davantage marquées sur le versant occidental [32]. La ligne de crête délimite deux bassins versants communément appelés «Bassin du Nil» à l'est et «Bassin du Congo» à l'ouest [33].

Le climat du PNK est de type tropical d'altitude à tendance tempérée marqué par son caractère montagnard. Les températures moyennes sont les plus basses du pays, variant entre 14 et 20 °C selon l'altitude [29]. La température moyenne mensuelle enregistrée à la station météorologique de Rwegura au cours des années 1986 à 2015 est de 16,4 °C (données recueillies à l'Institut Géographique du Burundi: IGEBU). Les précipitations annuelles sont supérieures à 1800 mm et atteignent parfois 2000 mm. L'humidité se situe entre 60 et 90 % pendant toute l'année mais reste généralement proche de la moyenne évaluée à 75 %. Les brouillards sont fréquents en altitude, surtout dans les vallées [34].

Les sols du PNK n'ont pas fait objet de beaucoup d'études scientifiques. L'étude réalisée par ISABU [35] et celle réalisée par [36] montrent que les sols de cette forêt naturelle sont du groupe des ferralsols selon la classification WRB-2014 [37]. Ils sont caractérisés par de faibles valeurs de la capacité d'échange cationique effective (≤ 16 cmol+/kg) et une dominance de la fraction argileuse par la kaolinite et la gibbsite [35-36].

Le PNK est situé dans le district afro-montagnard qui coïncide avec la partie montagneuse du pays [33]. Cet auteur distingue dans cette zone de végétation trois horizons en fonction des critères écologiques, floristiques et surtout physiologiques à savoir l'horizon inférieur compris entre 1600 et 1900 m d'altitude, horizon moyen allant de 1900 à 2250 m d'altitude et horizon supérieur compris entre 2250 m et 2450 m d'altitude. L'horizon inférieur est caractérisé par une forêt représentée par des arbres pouvant atteindre 25 m de hauteur. La strate supérieure regroupe des taxons tels que *Anthonothea pynaertii* (Fabaceae), *Albizia gummifera* (Fabaceae), *Parinari excelsa* (Rosaceae), *Prunus africana* (Rosaceae), *Syzigium guineense* (Myrtaceae). L'horizon moyen correspond à la forêt constituée des arbres atteignant 30 m et parfois 40 m de hauteur. La strate arborescente supérieure est constituée d'essences géantes telles que *Entandrophragma excelsum* (Meliaceae), *Prunus africana* (Rosaceae) et *Parinari excelsa* (Rosaceae), parmi lesquelles viennent s'intercaler des essences secondaires comme *Polyscias fulva* (Araliaceae). Dans l'horizon supérieur, il se développe une forêt assez distincte des deux types précédents. La cime s'arrête généralement à 15 m, à part quelques individus dominants de *Podocarpus milanjanus* (Podocarpaceae) pouvant atteindre 20 m de hauteur.

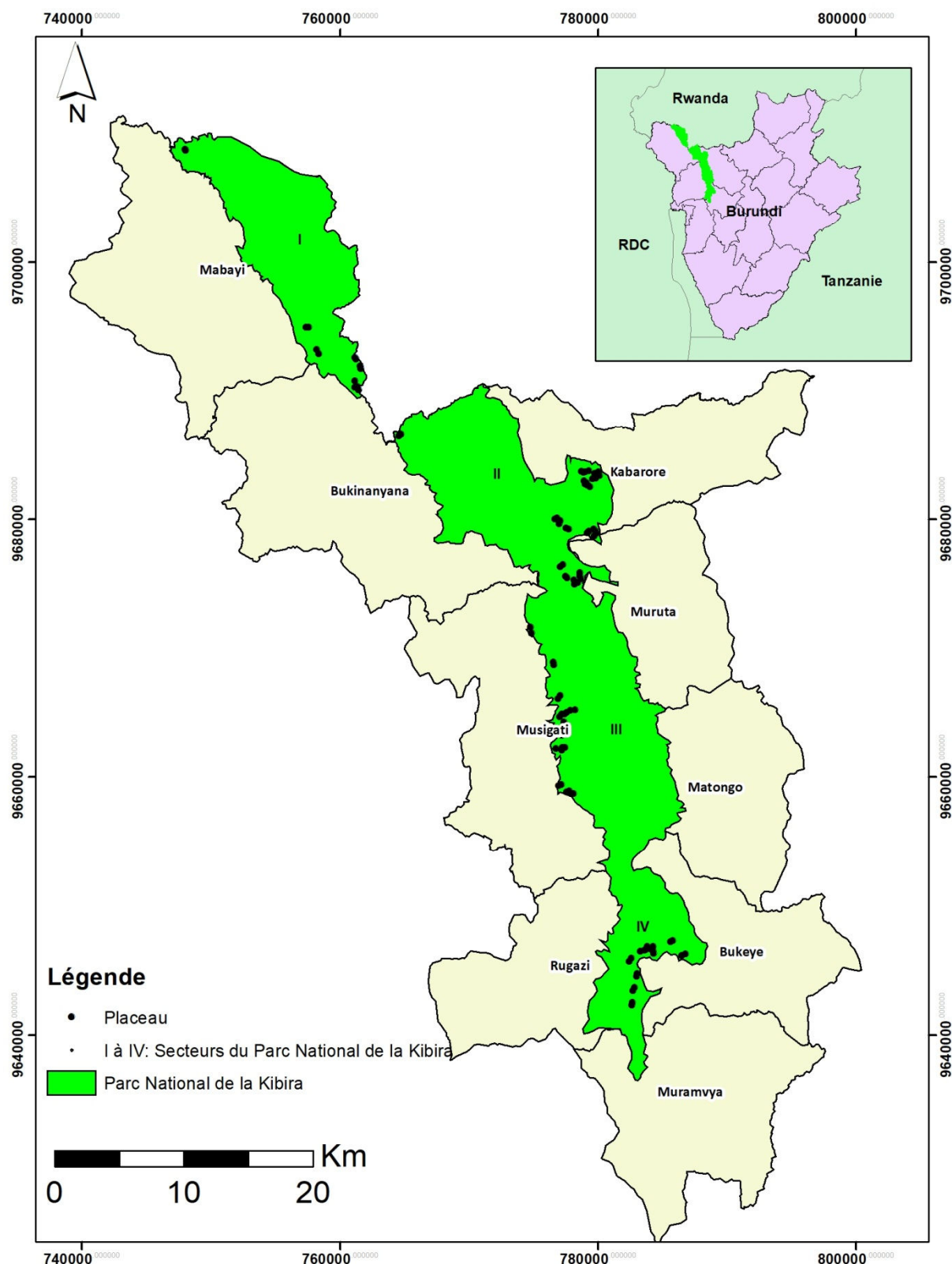


Fig. 1. Localisation du Parc National de la Kibira (PNK) au Burundi (A) et répartition des placeaux dans les secteurs (I = secteur Mabayi, II = secteur Rwegura, III = secteur Musigati, IV = secteur Teza) du PNK (B)

2.2 COLLECTE DES DONNEES

La collecte des données a été réalisée dans les quatre secteurs du PNK en considérant les deux bassins versants (bassin du Nil et bassin du Congo) et les trois niveaux d'altitude (de 1600 à 1900 m, de 1900 à 2250 m et de 2250 à 2450 m) correspondant aux trois horizons de la zone de végétation du PNK. Les observations de terrain ont permis de noter l'absence de forêts au niveau d'altitude 1600-1900 m du côté bassin versant du Nil. Par conséquent, cinq niveaux d'altitude sur l'ensemble des deux bassins versants ont été considérés. Dans chaque niveau d'altitude, les données ont été collectées dans 20 placeaux, mesurant chacun 0,25 ha (50 m × 50 m) [38], soit au total 100 placeaux équitablement répartis entre le milieu envahi par *S. scandens* et le milieu non envahi. Les coordonnées géographiques du centre de chaque placeau ont été enregistrées avec un GPS Garmin 76.

Dans chaque placeau, un inventaire exhaustif des individus d'arbres a été fait en considérant trois stades de développement: arbres (individu ayant un dbh supérieur ou égal à 10 cm), jeune arbre (individu ayant une hauteur supérieure ou égale à 2 m et un dbh inférieur à 10 cm) et régénération (individu dont la hauteur est inférieure à 2 m) au sens de [39]. Afin de faciliter l'inventaire des régénérations, à l'intérieur des placeaux, des sous-placeaux de 10 mètres de côté ont été délimités [40]. Il convient de préciser que les plantules de moins de 10 cm de hauteur ont été exclues de l'inventaire car en deçà de cette taille, la régénération subit une forte mortalité et témoigne d'un très faible taux de recrutement [41]. Le diamètre des arbres a été mesuré par le mètre ruban. La hauteur a été mesurée par un clinomètre Suunto auquel ont été associées une perche et une latte graduée de 5 m et 2 m de hauteur respectivement. Les diamètres ont été déduits des mesures des circonférences prises, à l'aide d'un mètre ruban, à 1,30 m au-dessus du sol [42]. La circonférence a été mesurée en se conformant au protocole de [43].

Pendant la collecte des données, des spécimens de chaque espèce ont été récoltés et mis en herbier. La détermination des noms scientifiques des espèces a été réalisée grâce aux ouvrages de [44] et de [45]. L'Herbarium de l'Université du Burundi (BJA) et celui de l'Office Burundais pour la Protection de l'Environnement (OBPE) ont été également consultés pour l'identification des spécimens de plantes. Après l'identification des espèces végétales, les herbiers de référence réalisés dans le cadre de la présente étude ont été déposés à l'Herbarium BJA. L'Herbarium de l'OBPE, en création, ne dispose pas encore d'un acronyme dans le système international. La nomenclature suivie pour les noms des espèces est celle de [46] et les noms des familles ont été attribués selon [47]. Leur validation a été réalisée après la vérification des noms actualisés dans la base de données des plantes africaines sur le site <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/recherche.php>.

2.3 TRAITEMENT DES DONNEES

Les analyses ont été faites sur les espèces ligneuses recensées au moins dans 60 placeaux. Pour analyser leur distribution spatiale, l'indice de Green (IG) a été utilisé [48]:

$$IG = \frac{(IB - 1)}{n - 1} \quad (1)$$

avec IB représentant l'indice de Blackman et n le nombre d'individus de chaque espèce inventoriés dans chaque milieu et à chaque niveau d'altitude. IB est donné par la relation suivante:

$$IB = \frac{S_N^2}{N} \quad (2)$$

où N et S_N^2 sont respectivement la moyenne et la variance du nombre d'individus de chaque espèce. La valeur de IG varie de 0 (distribution aléatoire) à 1 (distribution agrégative maximale des arbres). Il convient de noter qu'à chaque combinaison du niveau d'altitude et du milieu, le calcul de cet indice a été appliqué lorsque l'espèce concernée est présente dans au moins trois placeaux.

Une régression multiple a été utilisée pour tester l'effet de la densité des arbres adultes de l'espèce et de la densité moyenne des ligneux des stades régénération et jeune arbre des autres espèces sur les régénérations et les jeunes arbres des différentes espèces. Cette analyse a été réalisée séparément pour les milieux envahis et les milieux non envahis.

Dans chaque cas, le modèle le plus approprié sur les données de comptage (Poisson, quasi-Poisson ou binomiale négative) a été sélectionné après vérification de la surdispersion des données. Ces analyses ont été exécutées dans le logiciel R version 3.5.1 [49]. Les résultats ont été jugés statistiquement significatifs au seuil de 5 %.

3 RESULTATS

3.1 DISTRIBUTION SPATIALE DES ESPECES LIGNEUSES LES PLUS FREQUENTES SELON L'ENVAHISSEMENT OU NON DE *S. SCANDENS* ET LES NIVEAUX D'ALTITUDE

Au total, 12 espèces appartenant à 12 familles ont été identifiées comme étant les plus fréquentes (présentes dans au moins 60 placeaux). Les résultats du calcul de l'indice de Green (IG) ont mis en évidence que toutes ces espèces (quel que soit le stade de développement) sont caractérisées par une distribution spatiale aléatoire (IG proche de zéro), indépendamment de l'envahissement ou non de *S. scandens* et du niveau d'altitude (tableau 1).

Tableau 1. Résultats de l'indice de Green montrant la distribution spatiale des espèces ligneuses du PNK, présentes au moins dans 60 placeaux, selon les stades de développement, l'envahissement ou non de *S. scandens* et les niveaux d'altitude (Altitude 1 = de 1600 à 1900 m, Altitude 2 = de 1900 à 2250 m, Altitude 3 = de 2250 à 2450 m, S1 = stade régénération, S2 = stade jeune arbre, S3 = stade adulte, M1 = milieux envahis, M2 = milieux non envahis, NA = indice non calculé en raison des données insuffisantes)

Famille	Espèce	Stade	Altitude 1		Altitude 2		Altitude 3	
			M1	M2	M1	M2	M1	M2
Alangiaceae	<i>Alangium chinense</i> (Lour.) Harms	S1	NA	NA	-0,0470	0,0825	-0,0549	0,1772
		S2	0,0356	0,0534	0,0312	0,0454	0,0004	0,1027
		S3	0,0462	0,0648	0,0046	0,0434	0,0394	0,0851
Melianthaceae	<i>Bersama abyssinica</i> Fresen.	S1	-0,2500	-0,0009	-0,0739	0,0551	-0,0620	0,0471
		S2	0,0764	0,0190	0,0033	0,0036	-0,0043	0,0891
		S3	-0,1556	0,0049	-0,0105	-0,0059	0,0467	-0,0074
Meliaceae	<i>Carapa grandiflora</i> Sprague	S1	0,0423	0,1161	0,0410	0,0641	0,0567	0,1103
		S2	0,0127	0,0781	0,0930	0,0940	0,2155	0,0887
		S3	0,0366	0,0065	0,0692	0,1691	0,1292	0,0606
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum gorungosanum</i> Engl.	S1	-0,0556	0,0336	NA	0,0724	0,0000	0,1001
		S2	0,0476	0,0395	0,0104	0,0655	0,0067	0,0111
		S3	0,0095	0,0233	-0,0667	0,0158	-0,1000	0,0237
Euphorbiaceae	<i>Macaranga neomildbraediana</i> Lebrun	S1	-0,0696	0,0892	0,0177	0,0497	0,0163	0,0754
		S2	0,0189	0,1035	0,0272	0,1103	0,0150	0,0759
		S3	0,0825	0,1109	0,0306	0,0346	0,0371	0,0137
Moraceae	<i>Myrianthus holstii</i> Engl.	S1	0,1321	0,0535	0,0262	0,0556	0,0391	0,1176
		S2	0,0360	0,0183	0,0321	0,0378	0,0312	0,0418
		S3	0,0046	0,0062	0,0158	0,0097	0,0080	0,0480
Araliaceae	<i>Polyscias fulva</i> (Hiern) Harms	S1	NA	-0,5000	NA	0,1259	-0,3333	0,1435
		S2	-0,0476	0,0049	-0,0667	0,2588	0,0895	0,3153
		S3	0,0585	0,1044	0,0000	0,0769	0,0180	0,0440
Olacaceae	<i>Strombosia scheffleri</i> Engl.	S1	0,0894	0,0227	0,0196	0,0526	0,0839	0,0472
		S2	0,0314	0,0710	0,0323	0,0580	0,1101	0,0680
		S3	0,1513	0,0464	0,0392	0,0352	0,0831	0,0420
Clusiaceae	<i>Symphonia globulifera</i> L. f	S1	0,0298	0,0613	0,0455	0,0664	0,0804	0,0629
		S2	0,0319	0,0454	0,0573	0,0644	0,0504	0,0167
		S3	0,0985	0,0340	0,0298	0,0915	0,0086	0,0576
Myrtaceae	<i>Syzygium parvifolium</i> (Engl.) Mildbr.	S1	NA	NA	0,1186	0,1076	0,0188	0,1630
		S2	-0,3333	NA	-0,1429	0,0490	-0,0154	0,0402
		S3	NA	0,1452	-0,0691	0,1626	-0,0615	0,0422
Apocynaceae	<i>Tabernaemontana johnstonii</i> Stem bark	S1	0,1510	0,0733	0,0284	0,0711	0,0293	0,0720
		S2	0,0122	0,0082	0,0378	0,1689	0,0603	0,1810
		S3	-0,0231	0,1288	0,0222	0,0661	0,0471	0,0898
Monimiaceae	<i>Xymalos monospora</i> (Harv.) Baill. Ex Warb.	S1	NA	0,1152	0,0065	0,1033	0,0726	0,0372
		S2	-0,0071	0,0274	0,0727	0,0773	0,0841	0,1480
		S3	-0,3333	0,0323	0,0132	0,0310	0,0041	0,0978

3.2 EFFET DES ARBRES MERES ET DE LA REGENERATION ET JEUNE ARBRE DES AUTRES ESPECES SUR LE RECRUTEMENT DES ESPECES LIGNEUSES

Globalement, les résultats des modèles de régression exécutés (tableaux 2 et 3) mettent en évidence que la densité des arbres mères a un effet soit positif soit non significatif sur la densité des régénérations et des jeunes arbres tant en milieux envahis qu'en milieux non envahis par *S. scandens*. En d'autres termes, l'effet de Janzen-Connell n'est pas observé. En milieux envahis par la liane, les régénérations d'autres espèces ont globalement un effet non significatif contrairement aux milieux non envahis où leur effet est soit négatif, soit non significatif (tableau 2). Quant aux jeunes arbres d'autres espèces, leur effet est globalement négatif ou non significatif en milieux envahis pendant qu'il est globalement non significatif en milieux non envahis (tableau 3).

Tableau 2. Résultats des modèles de régression montrant l'effet de la densité des arbres mères et de la densité moyenne des régénérations des autres espèces sur les régénérations des espèces ligneuses du PNK présentes au moins dans 60 placeaux s (Coef. = coefficient, p = probabilité, R^2 = coefficient de détermination). Les coefficients de régression significativement différents de zéro sont mis en gras

Espèce	Milieu envahi					Milieu non envahi				
	ratio densité adultes		densité moyenne régénération autres espèces		R^2	ratio densité adultes		densité moyenne régénération autres espèces		R^2
	Coef.	p	Coef.	p		Coef.	p	Coef.	p	
<i>Alangium chinense</i> (Lour.) Harms	0,739	0,856	0,052	0,638	0,010	18,318	0,024	0,032	0,366	0,243
<i>Bersama abyssinica</i> Fresen.	0,764	0,852	-0,077	0,360	0,032	2,326	0,895	-0,022	0,318	0,033
<i>Carapa grandiflora</i> Sprague	3,718	0,042	0,154	0,011	0,800	7,103	0,081	-0,062	0,103	0,299
<i>Chrysophyllum gorungosanum</i> Engl.	-5,253	0,624	0,014	0,858	0,014	-10,895	0,181	-0,023	0,303	0,115
<i>Macaranga neomildbraediana</i> Lebrun	1,597	0,117	-0,179	0,061	0,303	0,129	0,927	-0,008	0,731	0,005
<i>Myrianthus holstii</i> Engl.	-0,936	0,439	0,042	0,397	0,160	5,523	< 0,0001	-0,059	< 0,0001	0,673
<i>Polyscias fulva</i> (Hiern) Harms	12,660	0,087	-0,526	0,134	0,363	-1,391	0,756	-0,073	0,018	0,233
<i>Strombosia scheffleri</i> Engl.	1,223	0,625	0,076	0,284	0,068	5,654	0,004	-0,012	0,566	0,999
<i>Symphonia globulifera</i> L. f	7,822	0,001	0,175	0,000	0,547	0,011	0,995	-0,035	0,097	0,984
<i>Syzygium parvifolium</i> (Engl.) Mildbr.	14,471	0,003	-0,131	0,039	0,354	10,117	0,0104	-0,097	0,000	0,520
<i>Tabernaemontana johnstonii</i> (Stapf) Pichon	2,978	0,226	-0,001	0,982	0,069	6,866	< 0,0001	-0,012	0,438	0,446
<i>Xymalos monospora</i> (Harv.) Baill. Ex Warb.	10,284	0,004	0,129	0,151	0,230	2,334	0,219	-0,039	0,020	0,167

Tableau 3. Résultats des modèles de régression montrant l'effet de la densité des arbres mères et de la densité moyennes des jeunes arbres d'autres espèces sur les jeunes arbres des espèces ligneuses du PNK présentes au moins dans 60 placeaux (Coef. = coefficient, p = probabilité, R^2 = coefficient de détermination). Les coefficients de régression significativement différents de zéro sont mis en gras

Espèce	Milieu envahi					Milieu non envahi				
	ratio densité adultes		densité moyenne jeunes arbres autres espèces		R^2	ratio densité adultes		densité moyenne jeunes arbres autres espèces		R^2
	Coef.	p	Coef.	p		Coef.	p	Coef.	p	
<i>Alangium chinense</i> (Lour.) Harms	3,952	0,033	0,059	0,405	0,177	15,453	0,000	0,021	0,342	0,856
<i>Bersama abyssinica</i> Fresen.	-0,552	0,886	-0,006	0,944	0,0009	19,173	0,274	0,037	0,224	0,097
<i>Carapa grandiflora</i> Sprague	5,626	0,000	-0,142	0,104	0,633	18,574	< 0,0001	-0,059	0,174	0,413
<i>Chrysophyllum gorungosanum</i> Engl.	-6,169	0,354	0,124	0,084	0,202	3,283	0,611	-0,026	0,357	0,130
<i>Macaranga neomildbraediana</i> Lebrun	0,644	0,264	-0,139	0,028	0,687	4,355	0,003	-0,055	0,114	0,187
<i>Myrianthus holstii</i> Engl.	2,003	0,036	-0,108	0,096	0,197	5,338	< 0,0001	0,024	0,348	0,222
<i>Polyscias fulva</i> (Hiern) Harms	15,493	0,000	-0,357	0,009	0,472	9,630	0,055	-0,027	0,596	0,221
<i>Strombosia scheffleri</i> Engl.	5,636	0,017	-0,048	0,634	0,164	11,693	< 0,0001	0,002	0,952	0,479
<i>Symphonia globulifera</i> L. f	9,987	< 0,0001	-0,083	0,242	0,553	2,545	0,096	0,032	0,280	0,762
<i>Syzygium parvifolium</i> (Engl.) Mildbr.	-7,298	0,334	-0,154	0,149	0,131	9,781	0,006	0,077	0,048	0,218
<i>Tabernaemontana johnstonii</i> (Stapf) Pichon	5,868	0,001	-0,119	0,111	0,455	8,198	< 0,0001	-0,094	0,007	0,476
<i>Xymalos monospora</i> (Harv.) Baill. Ex Warb.	11,630	< 0,0001	-0,188	0,010	0,785	7,486	0,002	0,035	0,345	0,168

4 DISCUSSION

4.1 ENVAHISSEMENT DE *S. SCANDENS* ET DISTRIBUTION SPATIALE DES STADES DE DEVELOPPEMENT DES ESPECES LIGNEUSES

Les espèces ligneuses, de tous les stades de développement, étudiées sont caractérisées par une distribution spatiale aléatoire, indépendamment de l'envahissement ou non de *S. scandens* et du niveau d'altitude. Ceci infirme l'hypothèse selon laquelle l'envahissement de *S. scandens* aurait un effet sur la structure spatiale des ligneux. Ces résultats suggèrent que l'invasion de cette liane ne favorise pas la prolifération de certaines espèces ligneuses par rapport à d'autres. Les travaux antérieurs ont signalé que la distribution spatiale des espèces ligneuses en forêts tropicales est soit aléatoire soit agrégative [50-53].

La distribution spatiale d'une espèce peut résulter des caractéristiques édaphiques ou topographiques du milieu [54-56], de la dominance locale d'une espèce [38] et du mode de dispersion des espèces [50]. Sur base du mode de dispersion des différentes espèces dont il est question ici, on peut nettement individualiser deux groupes d'espèces. Le premier groupe est constitué d'espèces sarcochores. Il s'agit de *Alangium chinense*, *Chrysophyllum gorungosanum*, *Myrianthus holstii*, *Polyscias fulva*, *Strombosia scheffleri*, *Symphonia globulifera*, *Syzygium parvifolium* et *Tabernaemontana johnstonii*. Le deuxième groupe est formé d'espèces ballochores à savoir *Bersama abyssinica*, *Carapa grandiflora*, *Macaranga neomildbraediana* et *Xymalos monospora* [57]. Les agents disséminateurs des espèces sarcochores sont majoritairement des animaux [58]. Certains animaux, tels que les oiseaux frugivores, peuvent disperser les graines sur plusieurs centaines de mètres [59-60]. Cela pourrait expliquer, au moins en grande partie, la distribution aléatoire des espèces du premier groupe. Bien que les espèces du second groupe soient des ballochores qui sont expulsées par la plante elle-même au cours de la dissémination [38], la distribution aléatoire de *C. grandiflora*, *M. neomildbraediana* et *X. monospora* peut également résulter de l'action des animaux. En effet, les fruits de ces espèces sont préférés par les chimpanzés [61] qui peuvent assurer leur dispersion en divers endroits. Quant à *B. abyssinica*, sa distribution peut être interprétée comme étant le résultat des variations des caractéristiques édaphiques du milieu [55-56] ou de l'interaction des facteurs biotiques et abiotiques [62].

4.2 EFFET DE JANZEN-CONNELL ET RECRUTEMENT DES ESPECES LIGNEUSES

La densité des arbres adultes de l'espèce a un effet positif ou non significatif sur les régénérations et les jeunes arbres tant en milieux envahis qu'en milieux non envahis par *S. scandens*. Ceci infirme l'hypothèse selon laquelle l'effet de Janzen-Connell aurait un lien avec l'envahissement de cette liane. En effet, l'effet de Janzen-Connell s'exprime lorsque les espèces ont une distribution agrégative [63-65]. Cette distribution aléatoire observée dans le cadre de cette étude suppose alors la coexistence

de plusieurs espèces ligneuses du PNK (53; 59 et 59 espèces respectivement pour les stades de développement régénération, jeune arbre et arbre selon [66]); ce qui rendrait l'écosystème persistante face à l'envahissement de *S. scandens*.

Au fil des années, l'hypothèse de Janzen-Connell a fait l'objet de nombreuses études dont la majorité visait principalement à déterminer si la performance des arbres durant les premiers stades de développement (germination des graines, recrutement des plantules et des jeunes arbres, croissance et survie) est plus faible près des arbres parents que loin et à des densités conspécifiques élevées que faibles [6]. L'existence d'un effet densité et d'un effet distance a été mis en évidence en forêt tropicale [67-71], en accord avec les prédictions de l'hypothèse de Janzen-Connell. Par contre, d'autres études ont mis en évidence une mortalité liée à la densité chez seulement 10 % des espèces d'arbres [72-74], ce qui correspond aux effets de Janzen-Connell plus faibles. Bien plus, [75] ont montré que le taux de survie des graines diminue avec la distance au semencier suite à la satiété des prédateurs dans les zones où la nourriture est abondante. Par analogie aux propos de ces derniers auteurs, le résultat obtenu dans le cadre de cette étude peut être interprété comme étant le reflet de la diversité des espèces ligneuses dont la régénération est positivement liée par la pression de semences produites par les arbres mères. Ainsi, les régénérations et jeunes des espèces ligneuses seraient en compétition pour se maintenir dans la végétation aussi bien dans les milieux envahis que les zones non envahies par *S. scandens*.

5 CONCLUSION

Bien que la liane envahissante *S. scandens* soit une menace pour les espèces ligneuses des forêts tropicales, la présente étude a montré que les espèces ligneuses du PNK sont caractérisées par une distribution spatiale aléatoire, indépendamment de l'envahissement ou non de cette liane. L'étude a également mis en relief que la densité des arbres adultes de l'espèce a un effet positif ou non significatif sur les régénérations et les jeunes arbres tant en milieux envahis qu'en milieux non envahis par *S. scandens*. Au vu des résultats de ce travail, il s'avère nécessaire que des études plus approfondies portant sur des facteurs abiotiques et biotiques du milieu soient réalisées pour une meilleure compréhension de l'organisation des espèces ligneuses du PNK et des mécanismes de coexistence de celles-ci. De même, des travaux complémentaires méritent d'être entrepris sur leur phénologie.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur gratitude à l'endroit du Gouvernement du Burundi qui a soutenu financièrement ce travail. Ils remercient également la Direction Générale de l'Office Burundais pour la Protection de l'Environnement (OBPE) pour avoir délivré l'autorisation de mener cette étude dans le Parc National de la Kibira et les gardes forestiers dudit parc pour leur aide sur le terrain.

REFERENCES

- [1] S. J. Wright, "Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence", *Oecologia*, vol. 130, no.1, pp. 1-14, 2002.
- [2] X. Pu and G. Jin, "Conspecific and phylogenetic density-dependent survival differs across life stages in two temperate old-growth forests in Northeast China", *Forest Ecology and Management*, vol. 424, pp. 95-104, 2018.
- [3] D. H. Janzen, "Herbivores and the number of tree species in tropical forests", *The American Naturalist*, vol. 104, no. 940, pp. 501-528, 1970.
- [4] Connell, J. H., *On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and rain forest trees*, In: P. J. Den Boer and G. Gradwell (Eds.), *Dynamics of Populations*, Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation, pp. 298-312, 1971.
- [5] J. Connell, J. Tracey and L. Webb, "Compensatory recruitment, growth and mortality as factors maintaining rain forest tree diversity", *Ecological Monographs*, vol. 54, no. 2, pp. 141-164, 1984.
- [6] L. S. Comita, S. A. Queenborough, S. J. Murphy, J. L. Eck, K. Xu, M. Krishnadas, N. Beckman and Y. Zhu, "Testing predictions of the Janzen-Connell hypothesis: a meta-analysis of experimental evidence for distance and density-dependent seed and seedling survival", *Journal of Ecology*, vol. 102, no. 4, pp. 845-856, 2014.
- [7] S. A. Schnitzer, "Testing ecological theory with lianas", *New Phytologist*, vol. 220, no. 2, pp. 366-380, 2018.
- [8] G. M. F. van der Heijden, J. R. Healey and O. L. Phillips, "Infestation of trees by lianas in a tropical forest in Amazonian Peru", *Journal of Vegetation Science*, vol. 19, no. 6, pp. 747-756, 2008.
- [9] L. L. Ingwell, S. J. Wright, K. K. Becklund, S. P. Hubbell and S. A. Schnitzer, "The impact of lianas on 10 years of tree growth and mortality on Barro Colorado Island, Panama", *Journal of Ecology*, vol. 98, no. 4, pp. 879-887, 2010.

- [10] S. A. Schnitzer, S. A. Mangan, J. W. Dalling, C. Baldeck, S. P. Hubbell, A. Ledo, H. Muller-Landau, M. Tobin, S. Aguilar, D. Brassfield, A. Hernandez, S. Lao, R. Perez, O. Valdez and S. R. Yorke, "Liana abundance, diversity, and distribution on Barro Colorado Island, Panama", *PLoS One*, vol. 7, no. 12, pp. 1-16, 2012.
- [11] S. A. Schnitzer, J. W. Dalling and W. P. Carson, "The impact of lianas on tree regeneration in tropical forest canopy gaps: Evidence for an alternative pathway of gap-phase regeneration", *Journal of Ecology*, vol. 88, no. 4, pp. 655-666, 2000.
- [12] S. A. Schnitzer and W. P. Carson, "Lianas suppress tree regeneration and diversity in treefall gaps", *Ecology Letters*, vol. 13, no. 7, pp. 849-857, 2010.
- [13] K. A. Kainer, L. H. O. Wadt and C. L. Staudhammer, "Testing a silvicultural recommendation: Brazil nut responses 10 years after liana cutting", *Journal of Applied Ecology*, vol. 51, no. 3, pp. 655-663, 2014.
- [14] S. A. Schnitzer, "A mechanistic explanation for global patterns of liana abundance and distribution", *American Naturalist*, vol. 166, no. 2, pp. 262-276, 2005.
- [15] B. P. Kurzel, S. A. Schnitzer and W. P. Carson, "Predicting liana crown location from stem diameter in three Panamanian lowland forests", *Biotropica*, vol. 38, no. 2, pp. 262-266, 2006.
- [16] L. M. Ladwig and S. J. Meiners, "Impacts of temperate lianas on tree growth in young deciduous forests", *Tropical Forest Ecology*, vol. 259, no. 2, pp. 195-200, 2009.
- [17] S. A. Schnitzer, G. van der Heijden, J. Mascaro and W. P. Carson, "Lianas in gaps reduce carbon accumulation in a tropical forest", *Ecology*, vol. 95, no. 11, pp. 3008-3017, 2014.
- [18] T. Toledo-Aceves, "Significance of remnant cloud forest fragments as reservoirs of tree and epiphytic bromeliad diversity", *Tropical Conservation Science*, vol. 7, no. 2, pp. 230-243, 2014.
- [19] Masumbuko, N. C., *Ecologie de Sericothachys scandens, liane envahissante dans les forêts de montagne du Parc National de Kahuzi-Biega, République Démocratique du Congo*, Thèse de doctorat, ULB, 2011.
- [20] Z. Balezi, M. Nyakabwa et J. Lejoly, "Etude écologique de la liane envahissante *Sericothachys scandens* dans la partie de haute altitude du Parc National de Kahuzi-Biega (PNKB), (Sud-Kivu, R.D.Congo)", *Annales de la Faculté des Sciences de l'Université Officielle de Bukavu*, vol. 1, no. 1, pp. 28-36, 2008.
- [21] P. Scholte, L. Rugyerinyange, F. Bizimungu, F. Ruzigandekwe, N. Chao, F. Mulindahabi, N. Ntare, D. Babaasa, D. Sheil, R. Fimbel, E. Fischer, J. Gapusi and B. Kaplin, "Reaching consensus: influence of the liana *Sericothachys scandens* on forest dynamics in Nyungwe National Park, Rwanda", *Fauna and Flora International*, vol. 44, no. 3, pp. 321-327, 2010.
- [22] D. Babaasa, G. Eilu, A. Kasangaki, R. Bitariho and A. McNeilage, "Gap characteristics and regeneration in Bwindi Impenetrable National Park, Uganda", *African Journal of Ecology*, vol. 42, no. 3, pp. 217-224, 2004.
- [23] MEEATU (Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme), *Plan régional de mise en œuvre de la Stratégie Nationale et Plan d'Action sur la Biodiversité en zones écologiques de Mimirwa et de la Crête Congo-Nil*, Rapport National à la Convention sur la Diversité Biologique, MEEATU, 2013.
- [24] Bangirirama, F. et Ndayishimiye, J., *Etude d'identification des sites dégradés et leurs systèmes de réhabilitation au Parc National de la Kibira (PNK)*, OBPE, 2014.
- [25] R. Habonayo, A. F. Azihou, G. H. Dassou, A. C. Adomou et B. Habonimana, "Influence de la liane envahissante *Sericothachys scandens* Gilg & Lopr. (Amaranthaceae) sur les espèces ligneuses du Parc National de la Kibira au Burundi", *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, sous presse, 2018a.
- [26] R. Law, J. Illian, D. F. R. P. Burslem, G. Gratzner, C. V. S. Gunatilleke and I. A. U. N. Gunatilleke, "Ecological information from spatial patterns of plants: insights from point pattern theory", *Journal of Ecology*, vol. 97, no. 4, pp. 616-628, 2009.
- [27] Nzigidahera, B., *Analyse de la diversité biologique végétale nationale et identification des priorités pour sa conservation*, INECN, 2000.
- [28] Arbonier, M., *Parc National de la Kibira, Plan de Gestion*, INECN, 1996.
- [29] Krug, O., *Etude des systèmes de production et des systèmes agraires des trois communes riveraines du PNK: proposition en vue d'une réduction des conflits*, INECN, 1993.
- [30] UICN., *Parcs et réserves du Burundi. Evaluation de l'efficacité de la gestion des aires protégées*, UICN/PACO, 2011.
- [31] Gourlet, S., *Le Parc National de la Kibira. Quelle potentialité pour quel avenir? Rapport de stage*, ENGREF, 1986.
- [32] INECN (Institut National pour l'Environnement et la Conservation de la Nature), *Plan de gestion du Parc National de la Kibira*, INECN, 1992.
- [33] J. Lewalle, "Les étages de la végétation du Burundi Occidentale", *Bulletin du Jardin botanique national de Belgique*, vol. 42, no. 1/2, pp. 1-247. 1972.
- [34] IGEBU (Institut Géographique du Burundi), *Bulletin climatologique mensuel (1990-2001)*, IGEBU, 2001.
- [35] Sottiaux, G., Opdecamp, L., Bigura, C. et Frankart, R., *Carte des sols du Burundi. Echelle 1/250000*. Notice explicative. AGCD, 1988.
- [36] Kaburungu, S., *Pedogenic Development of Soils at High Altitude in Burundi*, PhD dissertation, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, 1993.

- [37] IUSS Working Group WRB, *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*, World Soil Resources Reports No 106, FAO, 2015.
- [38] F. Havyarimana, J. Bogaert, J. Ndayishimiye, S. S. Y. Barima, M. J. Bigendako, J. Lejoly et C. De Cannière, "Impact de la structure spatiale de *Strombosia scheffleri* Engl. et *Xymalos monospora* (Harv.) Baill. sur la régénération naturelle et la coexistence des espèces arborescentes dans la Réserve Naturelle Forestière de Bururi, Burundi", *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 316, no. 2, pp. 49-61, 2013.
- [39] Gillet, F., *La phytosociologie synusiale intégrée: Guide méthodologique*, Laboratoire d'écologie végétale et de phytosociologie de l'Université de Neuchâtel, Institut de Botanique, 2000.
- [40] K. Kouadio, E. Kouassi Konan, N. F. Kouamé et D. Traoré, "Impact de l'éclaircie sur la régénération naturelle des essences principales, dans la forêt classée de Bossematié (Côte d'Ivoire)", *Sciences & Nature*, vol. 4, no. 1, pp. 27-35, 2007.
- [41] C. A. Chapman, L. J. Chapman, L. Kaufman and A. E. Zanne, "Potential causes of arrested succession in Kibale National Park, Uganda: growth and mortality of seedlings", *African Journal of Ecology*, vol. 37, no. 1, pp. 81-92, 1999.
- [42] Favrichon, V., Gourlet-Fleury, S., Avner B. H. et Dessard H., *Parcelles permanentes de recherche en forêt dense tropicale humide. Eléments pour une méthodologie d'analyse des données*, CIRAD-Forêt, 1998.
- [43] Picard, N. et Gourlet-Fleury S., *Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le Bassin du Congo*, COMIFAC, 2008.
- [44] Reekmans, M. et Niyongere, L., *Lexique vernaculaire des plantes vasculaires du Burundi*, Travaux de la faculté des sciences de l'Université du Burundi, 1983.
- [45] Habiaremye, M. F. et Nzigidahera, B., *Habitat du Parc National de la Kibira (Burundi). Lexique des plantes pour connaître et suivre l'évolution des forêts du secteur Rwegura*, Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, 2016.
- [46] Lebrun, J. P. et Stork, A. L., *Enumération des plantes à fleur d'Afrique tropicale*, Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève, 4 volumes, 1991-1997.
- [47] APG III, "An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III", *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 161, no. 2, pp. 105-121, 2009.
- [48] Jayaraman, K., *A Statistical Manual for Forestry Research*, FORSPA-FAO Publications, 1999.
- [49] R Core Team, *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.r-project.org/>, 2018r.
- [50] R. Condit, P. S. Ashton, P. Baker, S. Bunyavejchewin, S. Gunatilleke, N. Gunatilleke, S. P. Hubbel, R. B. Foster, A. Itoh, J. V. Lafrankie, H. S. Lee, E. Losos, N. Manokaran, R. Sukumar and T. Yamakura, "Spatial patterns in the distribution of tropical tree species", *Science*, vol. 288, no. 5470, pp. 1414-1418, 2000.
- [51] G. Lan, H. Zhu, M. Cao, Y. Hu, H. Wang, X. Deng, S. Zhou, J. Cui, J. Huang, Y. He, L. Liu, H. Xu and J. Song, "Spatial dispersion patterns of trees in a tropical rainforest in Xishuangbanna, southwest China", *Ecological Research*, vol. 24, no. 5, pp. 1117-1124, 2009.
- [52] J. K. Kambale, R. E. Shutsha, E. W. Katembo, J. M. Omatoko, F. B. Kirongozi, O. D. Basa, E. P. Bugenthoo, E. I. Yokana, K. K. Bukasa, H. S. Nshimba et K. N. Ngbolua, "Etude floristique et structurale de deux groupements végétaux mixtes sur terre hydromorphe et ferme de la forêt de Kponyo (Province du Bas-Uélé, R.D. Congo)", *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol. 24, no. 2, pp. 300-308, 2016.
- [53] Swamy V., *Forest composition and spatial patterns across a Western Amazonian river basin: the influence of plant-animal interactions*, In: R. W. Myster, (ed.), *Forest structure, function and dynamics in Western Amazonia*, Inc: JohnWiley and Sons, pp. 159-180, 2017.
- [54] T. B. Hart, "Monospecific dominance in tropical rain forest", *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 5, no. 1, pp. 6-11, 1990.
- [55] Dajoz R., *Précis d'écologie*, Dunod, 2003.
- [56] J. Silvertown, "Plant coexistence and the niche", *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 19, no. 11, pp. 605-611, 2004.
- [57] F. X. Habiaremye, "Analyse phytosociologique des forêts primaires de la crête Zaïre-Nil au Rwanda", *Belgian Journal of Botany*, vol. 126, no. 1, pp. 100-134, 1993.
- [58] Senterre B., *Recherches méthodologiques pour la typologie de la végétation et la phytogéographie des forêts denses d'Afrique tropicale*, Thèse de doctorat, ULB, 2005.
- [59] K. G. Murray, "Avan seed dispersal of 3 Neotropical gap-dependent plants", *Ecological Monographs*, vol. 58, no. 4, pp. 271-298, 1988.
- [60] S. Iida and T. Nakashizuka, "Spatial and temporal dispersal of *Kalopanax pictus* seeds in a temperate deciduous forest, central Japan", *Plant Ecology*, vol. 135, no. 2, pp. 243-248, 1998.
- [61] A. K. Basabose, "Diet composition of chimpanzee inhabiting the montane forest of Kahuzi, Democratic Republic of Congo", *American Journal of Primatology*, vol. 58, no. 1, pp. 1-21, 2002.
- [62] J. F. Quinn and A. E. Dunham, "On hypothesis testing in ecology and evolution", *American Naturalist*, vol. 122, no. 5, pp. 602-617, 1983.

- [63] R. Bagchi, P. Henrys, P. E. Brown, D. F. R. P. Burslem, P. J. Diggle, C. V. S. Gunatilleke, I. A. U. N. Gunatilleke, A. R. Kassim, R. Law, S. Noor and R. L. Valencia, "Spatial patterns reveal negative density dependence and habitat associations in tropical trees", *Ecology*, vol. 92, no. 9, pp. 1723-1729, 2011.
- [64] T. T. Caughlin, J. M. Ferguson, J. W. Lichstein, P. A. Zuidema, S. Bunyavejchewin and D. J. Levey, "Loss of animal seed dispersal increases extinction risk in a tropical tree species due to pervasive negative density dependence across life stages", *Proceeding of the Royal Society of London B*, vol. 282, no.1798, pp. 1-9, 2015.
- [65] E. C. Fricke and S. J. Wright, "Measuring the demographic impact of conspecific negative density dependence", *Oecologia*, vol. 184, no. 1, pp. 259-266, 2017.
- [66] R. Habonayo, A. F. Azihou, G. H. Dassou, F. Havyarimana, A. C. Adomou et B. Habonimana, "Influence de la liane envahissante *Sericostachys scandens* Gilg & Lopr. (Amaranthaceae) sur la diversité des espèces végétales ligneuses du Parc National de la Kibira au Burundi" *International Journal of Environmental Studies*, sous presse, 2018b.
- [67] C. K. Augspurger, "Seedling survival of tropical tree species: interactions of dispersal distance, light- gaps, and pathogens", *Ecology*, vol. 65, no. 6, pp. 1705-1712, 1984.
- [68] G. S. Gilbert, S. P. Hubbell and Foster R. B., "Density and distance-to-adult effects of a canker disease of trees in a moist tropical forest", *Oecologia*, vol. 98, no. 1, pp. 100-108, 1994.
- [69] C. O. Webb and P. R. Peart, "Seedling density dependence promotes coexistence of bornean rain forest trees", *Ecology*, vol. 80, no. 6, pp. 2006-2017, 1999.
- [70] K. E. Harms, J. Wright, O. Calderon, A. Hernandez and E. A. Herre, "Pervasive densitydependent recruitment enhances seedling diversity in a tropical forest", *Nature*, vol. 404, no. 6777, pp. 493-495. 2000.
- [71] J. Terborgh, "Enemies maintain hyperdiverse tropical forests", *American Naturalist*, vol. 179, no. 3, pp. 303-314, 2012.
- [72] S. P. Hubbell, R. Condit and R. B. Foster, "Presence and absence of density dependence in a neotropical tree community", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, vol. 330, no. 1257, pp. 269-281, 1990.
- [73] R. Condit, S. P. Hubbell and R. B. Foster, "Recruitment near conspecific adults and the maintenance of tree and shrub diversity in a neotropical forest", *American Naturalist*, vol. 140, no. 2, pp. 261-286, 1992.
- [74] C. Wills, R. Condit, R. B. Foster and S. P. Hubbell, "Strong density- and diversity related effects help to maintain tree species diversity in a neotropical forest", *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, vol. 94, no. 4, pp. 1252-1257, 1997.
- [75] Y. Takeuchi and T. Nakashizuka, "Effect of distance and density on seedseedling fate of two dipterocarp species", *Forest Ecology and Management*, vol. 247, no. 1-3, pp. 167-174, 2007.

Evaluation ethnobotanique et importance socioculturelle de *Uvariopsis tripetala* (Baker f.) G. E. Schatz au sud-Bénin : Une plante aromatique menacée d'extinction

[Ethnobotanical assessment and socio-cultural importance of *Uvariopsis tripetala* (Baker f.) G. E. Schatz in southern Benin : An aromatic plant threatened with extinction]

Akhénaton Adonai Mahouklo Bada Amouzoun, Romaël Badjréhou Badou, Gbèwonmèdéa Hospice Dassou, and Aristide Cossi Adomou

Laboratoire de Botanique et Ecologie Végétale, Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences et Techniques, 01 B.P 4521 Cotonou, Benin

Copyright © 2019 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: *Uvariopsis tripetala* (Baker f.) G. E. Schatz is a multipurpose aromatic plant listed as a vulnerable species by IUCN. It is threatened with extinction in Benin and its importance for local populations remains poorly documented. The purpose of this study is to analyze the traditional knowledge of local populations and the determinants of the use of *U. tripetala* in order to develop conservation and sustainable management strategies. To achieve this, 255 respondents, randomly selected from 5 socio-cultural groups (Adja, Fon, Holli, Mahi and Nagot) were interviewed through semi-structured ethnobotanical survey. Citation frequencies and ethnobotanical parameters (indices of diversity and equitability of the respondent, the consensual value of the types of use and the ethnobotanical value of use of an organ) were calculated. Factorial Correspondence Analysis was performed from a designed matrix. The results reveal that local populations have knowledge in the usage categories of food, magic, medicine, worship, household energy, oral and dental hygiene. In total, 24 uses have been identified and classified into 8 categories, the most cited of which are worship, medicinal and food uses. The most solicited organs are the stems for worship, the leaves for traditional medicine and the fruits for food purpose. Ethnic group, sex, age and instruction level are the factors that significantly influence the knowledge of *U. tripetala* uses. The rational use of the various plant organs and the sensitization of populations on the proper methods of cutting its stem could help to improve the sustainable management status of this species.

KEYWORDS: *Uvariopsis tripetala*, ethnobotanical survey, use values, southern-Benin

RESUME: *Uvariopsis tripetala* (Baker f.) G. E. Schatz est une plante aromatique à usages multiples inscrite sur la liste des espèces vulnérables de l'UICN. Elle est menacée d'extinction au Bénin et son importance pour les populations locales reste peu documentée. La présente étude a pour objectif d'analyser les connaissances traditionnelles des populations locales et les déterminants relatifs à l'utilisation de *U. tripetala* en vue d'élaborer des stratégies de conservation et de gestion durable. Pour y parvenir, 255 enquêtés, choisis de façon aléatoire dans cinq groupes socio-culturels (Adja, Fon, Holli, Mahi et Nagot) ont été interviewés par enquête ethnobotanique semi-structurée. Des fréquences de citation et des paramètres ethnobotaniques (indices de diversité et d'équitabilité de l'enquêté, la valeur consensuelle des types d'utilisations et la valeur d'usage ethnobotanique d'un organe) ont été calculés. L'Analyse Factorielle des Correspondances a été effectuée à partir d'une matrice conçue. Les résultats révèlent que les populations locales détiennent des connaissances dans les catégories d'usages relatifs à l'alimentation, à la magie, à la médecine, à la culture, à l'énergie domestique et à l'hygiène bucco-dentaire. Au total, 24 usages ont été recensés et classés en 8 catégories dont les plus cités sont les usages culturels, médicaux et alimentaires. Les organes les plus sollicités sont les tiges dans le domaine culturel, les feuilles en médecine traditionnelle et les fruits sur le plan alimentaire. L'ethnie, le sexe, l'âge et le niveau d'instruction sont les facteurs qui influencent significativement les connaissances sur les usages de *U. tripetala*. L'utilisation rationnelle des différents organes de la plante et la sensibilisation des

populations sur les bonnes méthodes de coupe de sa tige pourraient aider à améliorer le statut de gestion durable de cette espèce.

MOTS-CLEFS: *Uvariopsis tripetala*, Enquête ethnobotanique, valeur d'usages, sud-Bénin

1 INTRODUCTION

L'homme dans la recherche du mieux-être et de la satisfaction de ses besoins entretient divers rapports avec les plantes en fonction de leurs usages [1-2]. Ces rapports peuvent concerner des plantes médicinales, comestibles, aromatiques, à signification culturelle ou à usage artisanal, à usage domestique (bois de chauffe, de charbon et de construction), etc. [3-4]. Ce constat est aussi avéré en Afrique, où diverses études se sont intéressées à la sauvegarde des moyens de subsistance des populations locales, se focalisant sur les aspects ethnobotaniques, écologiques et socio-économiques [5-7], mais aussi l'identification des espèces prioritaires à valoriser [8]. En dépit de ces nombreuses études, celles relatives aux plantes aromatiques restent fragmentaires. Les plantes aromatiques appartiennent à la fois au domaine des plantes médicinales et des matières premières industrielles d'origine végétale [9]. L'importance des plantes aromatiques reste liée à leurs propriétés biologiques et médicinales [10]. Actuellement, elles possèdent un atout socio-économique considérable grâce à la découverte progressive des applications de leurs huiles essentielles dans les soins de santé ainsi que leurs utilisations dans d'autres domaines d'intérêt économique [11] tels que pharmaceutiques, cosmétiques, agroalimentaires et en parfumerie [12-13]. Elles sont divisées en une multitude de familles dont les Annonaceae, la plus grande famille des Magnoliales avec plus de 2000 espèces [14]. Les espèces de cette famille existent à l'état spontané, en forêts et hors forêts, ou sous forme de cultures avec des produits alimentaires dérivés [15]. En dépit de leur importance, ces espèces sont menacées par les pratiques d'exploitation des communautés locales ainsi que par une gestion non durable [7]. Il en découle une disparition alarmante d'espèces, une régression et une destruction des écosystèmes [16].

Uvariopsis tripetala (Baker f.) G. E. Schatz (Syn. *Dennettia tripetala* Baker f.) fait partie de ces espèces classées localement (au Bénin) en danger critique d'extinction par [17] et internationalement vulnérable par [18]. C'est un arbuste ou petit arbre glabre, cauliflore, à fruit multiple digité rouge à maturité et atteignant 3 à 8 m de hauteur [17]. Il est présent au Nigéria, Ghana et au Cameroun et est utilisé surtout à des fins médicinales, alimentaires, socioculturelles, écologiques et économiques [18-22]. Il possède d'importants composés chimiques tels que les tanins, les alcaloïdes, les stéroïdes, les flavonoïdes, les glycosides cardiaques, les saponines et les terpénoïdes [23-26]. Ces composés chimiques possèdent plusieurs propriétés pharmacologiques notamment celles antimicrobiennes, insecticides, analgésiques, antioxydantes et anti-inflammatoires [23]. Les fruits, les feuilles, l'écorce, les graines et les racines de la plante possèdent un goût poivré et piquant. Les fruits et les graines sont comestibles. Ils sont utilisés comme épices et condiments et jouent un rôle important dans la conservation des aliments susceptibles de se décomposer tels que la viande [23;27]. Les feuilles de *U. tripetala* se sont révélées efficaces pour inhiber la croissance du champignon *Sclerotium rolfsii*, responsable de la pourriture, dans le coco, à la fois in vitro et in vivo [28].

Au Bénin, *U. tripetala* se retrouve dans les forêts denses humides semi-décidues et les galeries forestières [19]. Elle est seulement bien représentée dans la forêt d'Ewè-Adakplamè fortement menacée de disparition et subit de fortes menaces. Parmi les causes de ces menaces, on peut citer la mutilation de *U. tripetala* de la part des populations locales à cause du culte « Oro ». Ce culte comporte une phase de démonstration de force au cours de laquelle les jeunes tiges de *U. tripetala* sont utilisées comme des fouets [17]. Ce qui démontre l'intérêt que lui portent les populations locales et les pressions exercées sur cette dernière dans la forêt d'Ewè-Adakplamè. En l'absence de mesure conservatoire, l'espèce risque de disparaître et entraînerait la perte de tous ses services culturels, culturels, écologiques, sociaux et médicaux. Aussi, les connaissances scientifiques relatives à la valeur d'usage de *U. tripetala* au niveau des communautés locales ne sont-elles pas encore documentées. Ainsi, dans une perspective de valorisation et de gestion durable, la documentation desdites connaissances s'avère indispensable. Mais cela ne peut se faire sans la prise en compte des savoirs locaux, des valeurs sociales, culturelles et économiques des populations qui vivent proches des forêts et qui en tirent tout ce qui est nécessaire à leurs besoins. Dans ce sens, une étude ethnobotanique apparaît comme une bonne approche pour combler ce vide et sauvegarder les connaissances endogènes que les populations locales ont de cette plante aromatique en vue d'une gestion durable. Les études ethnobotaniques permettent non seulement de mettre en valeur les connaissances relatives à l'usage des plantes mais aussi d'assurer la préservation de cette connaissance dans un contexte de modernisation de la vie et d'érosion des connaissances [29]. C'est dans cette optique que s'inscrit la présente étude qui vise à analyser les connaissances traditionnelles des populations locales et les déterminants relatifs à l'utilisation de *U. tripetala* en vue d'élaborer des stratégies de conservation et de gestion durable. De façon spécifique, il s'est agi de : (1) recenser les dénominations locales et usages faits de *U. tripetala* et (2) déterminer les facteurs socioculturels influençant la connaissance de *U. tripetala*. Pour atteindre ces objectifs, les hypothèses suivantes ont été formulées : (i) il existe une diversité d'usages et de noms locaux pour *U. tripetala* entre les groupes

sociolinguistiques mais au sein de ceux-ci des appellations communes sont rencontrées et (ii) les usages de *U. tripetala* sont déterminés par des facteurs tels que l'ethnie, l'âge, le sexe et le niveau d'instruction.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU D'ETUDE

U. tripetala a une distribution phytogéographique qui s'étend du district « Plateau » jusqu'au district Borgou-Sud'au Bénin avec sa plus grande population naturelle dans le District « Plateau » [19]. Ce qui a fait le choix de ce district pour les investigations sur l'espèce qui ont été menées au sud-Bénin dans les communes de Kétou et Zogbodomey. Celles-ci abritent respectivement l'îlot forestier Ewè-Adakplamè et la forêt classée de la Lama (figure 1). Elles sont soumises à un climat de type subéquatorial, caractérisé par deux (2) saisons sèches (une petite centrée sur le mois d'août et une grande de novembre à mars) et deux (2) saisons pluvieuses, l'une courte (septembre à novembre) et l'autre plus longue (avril à juillet) [30]. La forêt communautaire d'Ewè-Adakplamè est caractérisée par une forêt dense humide semi-décidue à *Mansonia altissima* (A.Chev.) A.Chev. (Sterculiaceae), *Nesogordonia papaverifera* (K.Schum.) Capuron ex R.Germ. (Sterculiaceae) et *Drypetes aframensis* Hutch. (Euphorbiaceae). Elle représente une relique sacrée de forêt dense humide entièrement gérée par la population locale. Elle est dépourvue d'un plan d'aménagement alors que la forêt classée de la Lama est bien zonée avec une carte de végétation détaillée et un plan d'aménagement structuré. Elle est dotée d'un système de réseau de layons bien structuré et son noyau central est intégralement préservé et constitue l'écosystème forestier le mieux conservé dans le sud-Bénin [31;17]. Sur le plan pédologique, les sols ferrugineux, ferralitiques, argileux et les vertisols dans la dépression de la Lama sont les plus dominant [32]. Les températures moyennes annuelles oscillent autour de 27°C et l'humidité de l'air varie entre 69 % et 97 % [30]). La zone d'étude est constituée d'une hétérogénéité de groupes ethniques dont celles dominantes sont les Fon, Mahi, Holli et Nagot. Ces différents groupes ethniques sont composés en majorité d'analphabètes aux croyances religieuses diverses et vivent de l'agriculture, de l'élevage, du commerce, de la pêche, de la chasse, de l'artisanat et de l'exploitation de bois de feu. La densité de la population est comprise entre 89 habitants / km² (Kétou) et 114 habitants / km² (Zogbodomey) [33].

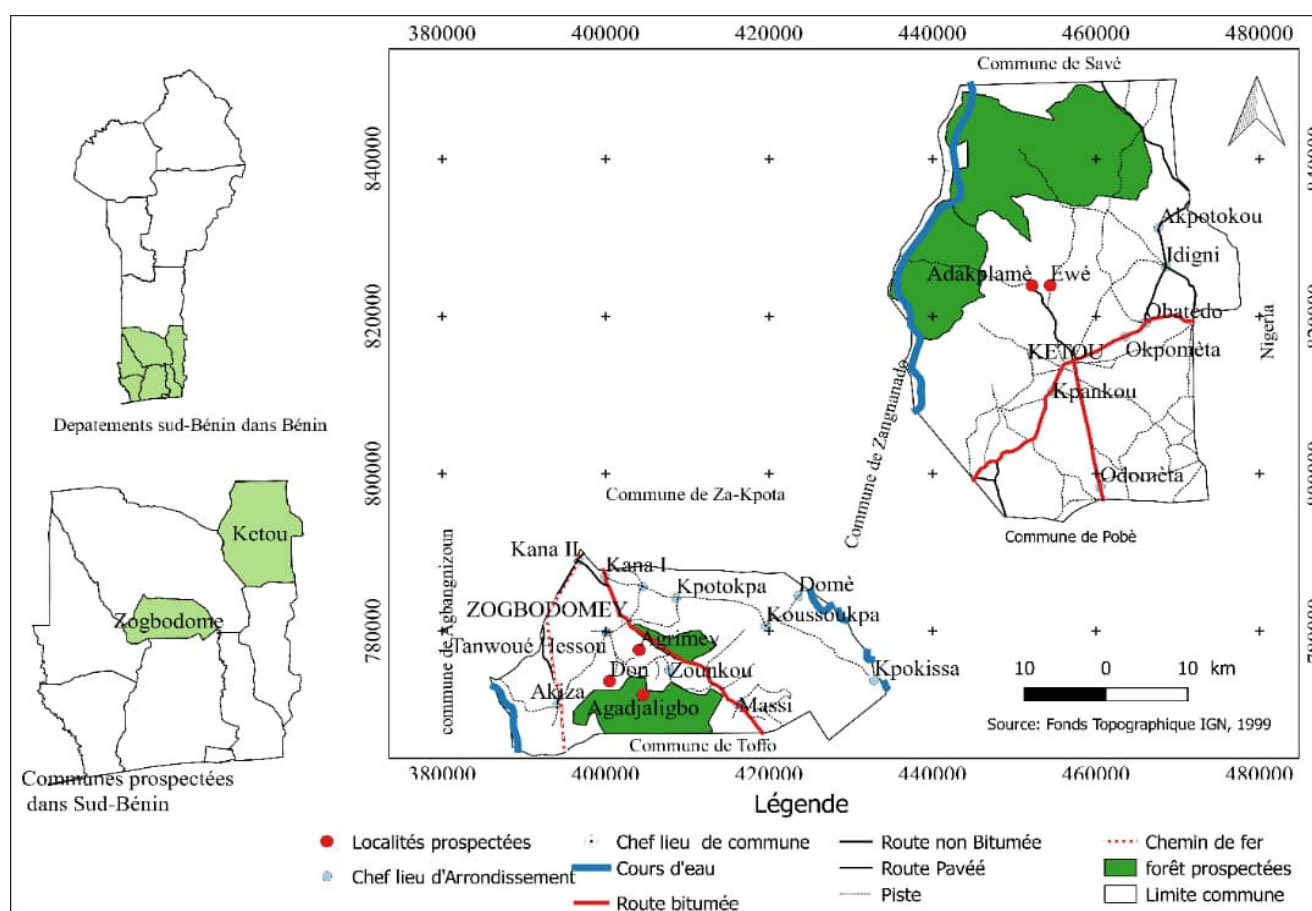


Fig. 1. Localisation géographique du milieu d'étude avec les localités enquêtées

2.2 ÉCHANTILLONNAGE ET COLLECTE DE DONNEES

Une étude préliminaire a été effectuée sur un échantillon de 100 personnes pris au hasard, à raison de 50 personnes autour de chaque forêt. Ce sondage exploratoire a montré que 32 personnes à Zogbodomé et 47 à Kétou, soit 79 personnes possédant des connaissances sur les usages ethnobotaniques de *U. tripetala*. Ensuite la taille de l'échantillon des enquêtés a été déterminée suivant la formule de [34].

$$n = \frac{U_{1-\alpha/2}^2 p (1 - p)}{d^2}$$

Avec n : taille de l'échantillon ; p : proportion d'informateurs (0,79) qui ont une connaissance sur les usages ethnobotaniques de *U. tripetala* ; $U_{1-\alpha/2}$: valeur de la loi normale à la valeur de probabilité $1-\alpha/2$ avec $\alpha = 5\%$ est de 1,96 ; d : marge d'erreur de l'estimation fixée à une valeur de 5 %. Ainsi $n = 103$ à Zogbodomé et 152 à Kétou, soit un total de 255 enquêtés.

Les données ont été collectées à travers des enquêtes ethnobotaniques par interviews individuelles et par focus group (groupe de deux à cinq personnes). Les enquêtés ont été choisis sur la base de leur volonté à participer aux activités. Ils comprennent toutes les couches sociales (hommes, femmes, jeunes, vieux, vieilles) dans l'échantillon. Un questionnaire semi-structuré administré aux enquêtés, a servi de base à la collecte de données. Le questionnaire rédigé en langue française a été adressé dans les langues locales des informateurs, au besoin, en présence d'un traducteur. Les questions portaient sur le profil des enquêtés (village, identité, sexe, ethnie, âge, fonction, niveau d'instruction, religion), la parataxonomie de l'espèce (nom vernaculaire et signification, critère de reconnaissance), les usages (type d'usage, organe, mode d'usage et fréquence de prélèvement), les pesanteurs socioculturelles défavorisant la survie de l'espèce et les stratégies locales de sa conservation. Dans la phase de collecte des données, le spécimen de l'espèce a été présenté aux enquêtés afin de s'assurer qu'ils fournissent des informations fiables sur l'espèce.

2.3 TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES

Le tableur Excel 2016 a été utilisé pour le codage et le traitement des données issues des enquêtes ethnobotaniques.

2.3.1 EVALUATION DE LA DIVERSITE DES NOMS LOCAUX ET DE LEUR SIGNIFICATION

Après la détermination du nombre total de noms locaux et des critères parataxonomiques obtenus pour l'espèce, leur diversité et ampleur d'utilisation ont été évalués. Cette évaluation a été faite par calcul de la fréquence de citation et du taux de couverture ethnique. Le taux de couverture ethnique (Tce) a été déterminé selon la formule suivante indiquée par [35].

$$Tce = (N * 100) / Nte$$

Où N est le nombre d'ethnies utilisant un nom donné pour désigner localement chaque espèce et Nte le nombre total d'ethnies enquêtées.

2.3.2 EVALUATION DE LA DIVERSITE ET LA VARIATION D'USAGE DES ORGANES DE *U. TRIPETALA*

Les fréquences relatives de citations (catégories d'usages, organes utilisés, le mode de prélèvement des organes) et des indices ethnobotaniques (indices de diversité de connaissances et d'équitabilité de l'enquêté, la valeur consensuelle des types d'utilisations et la valeur d'usage ethnobotanique d'un organe) ont été déterminés pour évaluer la diversité et la variation d'usage des organes. L'indice écologique de diversité de [36] a permis de mesurer combien d'enquêtés utilisent l'espèce et comment cette connaissance est distribuée parmi les enquêtés. Cet indice est calculé par la formule suivante :

$$ID = -\sum \left(\frac{ni}{N} \right) \ln \left(\frac{ni}{N} \right) \quad ID \in [0, n]$$

ni est le nombre d'utilisations citées par l'enquêté et N est la somme des ni .

Si tous les enquêtés ont les mêmes connaissances sur l'espèce, la valeur de l'indice est maximale et égale à :

$$ID_{max} = \ln(n), \text{ où}$$

n est l'effectif total des enquêtés. La diversité est faible lorsque $ID < 3$; moyenne si ID est compris entre 3 et 4 ; puis élevée quand $ID > 4$. Une faible valeur de l'indice signifie qu'un petit groupe d'enquêtés détient la plupart des connaissances sur chaque espèce.

L'indice d'équitabilité de l'enquête (IE) calculé a permis de mesurer le degré d'homogénéité des connaissances des enquêtés [37]. Il est donné par la formule :

$$IE = ID/ID_{max}$$

IE est compris entre 0 et 1. Si $IE < 0,5$ la diversité des connaissances des enquêtés n'est pas homogène mais si $IE > 0,5$ cette diversité est homogène. Ces indices ont été calculés suivant les caractéristiques socioprofessionnelles (l'ethnie, l'âge, le sexe et le niveau d'instruction).

Le calcul de la valeur d'usage ethnobotanique de chaque organe a été effectué à l'aide de la formule de [38]:

$$VU(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{n=3} Si \quad VUT = \sum VU(k)$$

$VU(k)$ est la valeur d'usage ethnobotanique de l'organe k au sein d'un sous-groupe ethnique ; Si est le score d'utilisation attribué par le répondant i et N est le nombre de répondants pour le sous-groupe ethnique considéré. VUT est la valeur d'usage ethnobotanique totale de cet organe. Les scores d'utilisation sont : 0 = organe non utilisé, 1 = organe peu utilisé, 2 = organe moyennement utilisé et 3 = organe très utilisé. L'intérêt de la valeur d'usage est qu'il permet de déterminer de façon significative l'organe végétal ayant une grande valeur d'utilisation.

Enfin, l'importance locale de *U. tripetala* a été calculée en utilisant la fréquence relative de citation [39]. Elle est calculée suivant la formule :

$$RCF = \frac{\text{Nombre d'enquêtés ayant mentionné l'usage de l'espèce}}{\text{Nombre total d'enquêtés}} \times 100$$

2.3.3 SELECTION DES FACTEURS DETERMINANT LES USAGES DE *U. TRIPETALA*

Des tests d'indépendance de Chi-2 de Pearson ont été effectués pour vérifier si les catégories d'usages de l'espèce dépendent des facteurs socioculturels (ethnie, sexe, âge, profession, niveau d'instruction et religion). Une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) a été réalisée pour établir les liens qui existent entre les catégories d'usages de l'espèce et les ethnies. En effet, l'ethnie reste un des facteurs majeurs qui expliquent la variation des usages des plantes entre les communautés [40]. Cette analyse a été faite sous le logiciel R 3.2.5 [41].

3 RESULTATS

3.1 PROFIL DES ENQUETES

La répartition des enquêtés par catégories socioculturelles est donnée par le tableau 1. Les individus enquêtés appartiennent à cinq ethnies (Fon, Mahi, Holli, Nagot et Adja) répartis dans cinq villages (Adakplamè centre, Ewè, Zalimey, Agadjaligbo et Don) riverains des deux forêts. Les Holli, les Mahi et les Fon étaient les plus dominants avec des taux respectifs de 37,25, 29,02 et 27,06 %. L'âge des enquêtés était compris entre 27 et 100 ans avec une moyenne de 60 ans. Le sexe masculin était le plus représenté (88,63 %). L'échantillon était aussi beaucoup plus représenté par les cultivateurs (80,4 %) et les illettrés (54,9 %). La majorité des enquêtés lettrés ayant un niveau primaire sont majoritaires (35 %). Les chrétiens, les animistes et les musulmans représentaient respectivement 57,25 %, 37,25 % et 5,5 % du total des enquêtés.

Tableau 1. Répartition de la taille des enquêtés au sein des catégories socioculturelles

Catégories socioculturelles	Couches socioculturelles	Taille de l'échantillon	
		Nombre d'enquêtés	Pourcentage d'enquêtés (%)
Age (a)	Jeunes (a < 30 ans)	4	1,57
	Adultes (30 ≤ a < 60 ans)	113	44,31
	Vieillards (≥ 60 ans)	138	54,12
Ethnie	Adja	8	3,14
	Fon	69	27,06
	Holli	95	37,25
	Mahi	74	29,02
	Nagot	9	3,53
Sexe	Masculin	226	88,63
	Féminin	29	11,37
Profession	Chasseur	10	3,92
	Cultivateur	205	80,4
	Guérisseur traditionnel	11	4,31
	Ménagère	29	11,37
Religion	Animiste	95	37,25
	Chrétien	146	57,25
	Musulman	14	5,5
Niveau d'instruction	Illettrés	140	54,9
	Lettrés de niveau primaire	90	35,3
	Lettrés de niveau secondaire	23	9,02
	Lettrés de niveau universitaire	2	0,78

3.2 PARATAXONOMIE DE *U. TRIPETALA*

Au total, huit (8) noms vernaculaires sont utilisés par les populations riveraines pour désigner *U. tripetala*. Tous ces noms locaux ont presque une signification qui découle des utilisations de l'espèce. Parmi eux, « Ewé Igbo » et « Kinwi » sont les noms les plus populaires pour *U. tripetala* avec un taux de couverture ethnique respectif de 29,25 % et 23,72 % (tableau 2).

Tableau 2. Taxonomie locale de *U. tripetala* en fonction des groupes ethniques

Espèces	Noms vernaculaires	Signification	Village d'interview des enquêtés	Langues locales (ethnies)	Aires socio-culturelles des ethnies	Taux de couverture ethnique
<i>Uvariopsis tripetala</i>	« Ewé Igbo »	Arbuste à fruit poivré de la forêt	Agadjaligbo, Zalimey	Holli	Yoruba	29,25
	« Kinwi »	-	Ewé	Mahi	Adja	23,72
	« Agbanwi-gnawignan »	Chicotte dur résistante	Adakplamè	Fon	Adja	18,18
	« Lèlou »	-	Don	Fon	Adja	7,51
	« Igui anqu »	Arbuste à écorce noirâtre	Ewé	Holli	Yoruba	5,53
	« Kinwi axi »	-	Ewé	Mahi	Adja	5,53
	« Baya »	Chicotte	Ewé	Adja	Adja	3,16
	« Makpodè »	-	Ewé	Nagot	Yoruba	2,77

Sur le plan de la reconnaissance, trois (03) catégories de critères de reconnaissance de *U. tripetala* dans son habitat faisant intervenir les organes de sens sont utilisées par la population. Il s'agit des critères visuels (forme et couleur des fruits, aspect de la tige, des feuilles et de l'écorce), olfactifs (odeur aromatique des feuilles, écorces et fruits) et gustatifs (goût des fruits). Les critères parataxonomiques de reconnaissance les plus employés de l'espèce par les enquêtés sont l'odeur poivrée des feuilles (98,33 %), l'aspect cauliflore de la tige (97,92%), l'aspect des feuilles (88,75 %) et le goût poivré des fruits (65, 82 %) (figure 2).

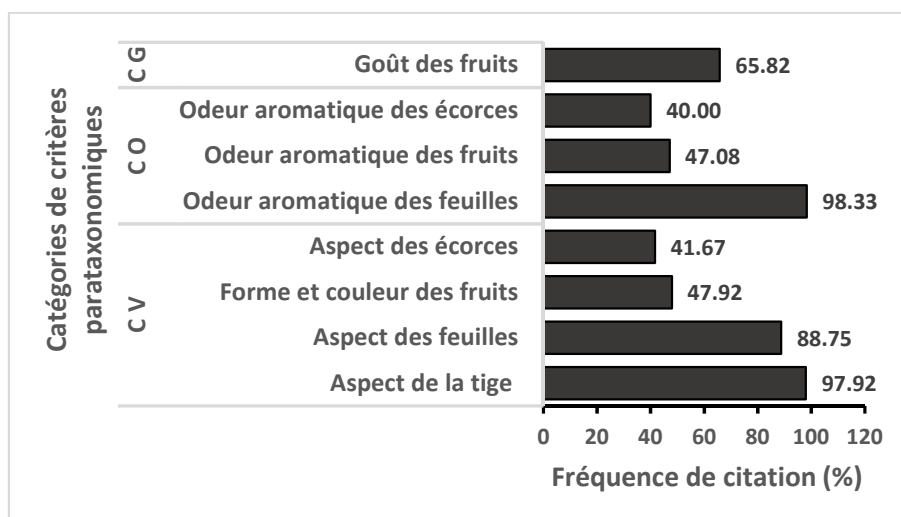


Fig. 2. Répartition des enquêtés suivant les critères de reconnaissance de *U. tripetala* (CV : Critères visuels ; CO : Critères olfactifs ; CG : Critères gustatifs)

3.3 DIVERSITE D'USAGES DE *U. TRIPETALA* AU SEIN DES POPULATIONS ENQUETÉES

Au total, 24 usages sont recensés et classés en 6 catégories dont la médecine traditionnelle humaine (18 types d'usages), la magie (2 types d'usages), l'énergie domestique (1 type d'usage), l'hygiène bucco-dentaire (1 type d'usage), l'alimentation (1 type d'usage) puis la catégorie culturelle (1 type d'usage) (tableau 3). En pharmacopée traditionnelle, 70 % des enquêtés ont renseignés sur les vertus thérapeutiques de *U. tripetala* et 15 % utilisent l'espèce pour la solidification et la fortification des nouveaux nés. Ce qui a permis de répertorier dix-huit (18) maladies ou signes cliniques (tableau 4). Par ailleurs, six (6) organes (tige, feuille, racine, fruit, rameau feuillé, écorce de la tige) sont impliqués dans les différentes catégories d'usages de *U. tripetala*. La tige est plus utilisée (VUT = 8,27) que les feuilles (VUT = 3,57) et les fruits (VUT = 3,29) ; qui sont très peu utilisées dans le milieu. L'écorce de la tige (VUT = 0,92), la racine (VUT = 0,90) et le rameau feuillé (VUT = 0,54) sont faiblement utilisés. Les organes de l'espèce sont prélevés soit par arrachage (76, 25 %) ou par écorçage (23,33 %) des jeunes tiges, soit par creusage de la racine (14,58 %), soit par ramassage (29,42 %) ou cueillette (54,58 %) des fruits et des feuilles. Les feuilles (74,42 %) sont majoritairement sollicitées en médecine traditionnelle humaine. Ces organes (figure 3) sont utilisés seuls ou en association avec ceux d'autres plantes pour le traitement des maladies.



Fig. 3. Photos montrant les différents organes de *Uvariopsis tripetala*

Au nombre des plantes associées, on peut citer : *Citrus aurantifolia* (Christm. & Panzer) Swingle (Rutaceae), *Piper guineensis* Schumach. & Thonn. (Piperaceae), *Momordica charantia* L. (Cucurbitaceae), *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf (Poaceae), *Dialium guineense* Willd. (Leguminosae-Caesalpinioideae), *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae) etc. Les investigations révèlent aussi plusieurs modes de préparations des phytomédicaments : décoction, infusion, mastication, trituration et macération. Mais la décoction est la plus importante avec 74,58 % des cas. Les préparations pharmaceutiques sont administrées par voie orale (80,42 %) et cutanée (18,33 %).

Tableau 3. Catégories et types d'usages de *U. tripetala* avec leur fréquence de citation

Catégories	Types d'usages	Organes	Fréquence de citation (%)
Energie domestique	Bois énergie	Tige	44,58
Hygiène bucco-dentaire	Brosse végétale	Tige	12,5
Cultuel	Chicotte pour le culte « Oro »	Tige	64,17
Magie	Porte Chance	Feuille / Tige	8,2
	Protection contre la sorcellerie	Tige	3,05
Alimentation	Consommation	Fruit	54,58
Médecine traditionnelle humaine	Paludisme	Feuille / Rameau feuillé / Ecorce / Racine	58,33
	Maux de ventre	Feuille / Racine / Ecorce	40,42
	Rougeole	Feuille / Racine / Ecorce	37,50
	Carie dentaire	Tige / Rameau feuillé / Ecorce / Fruit	33,33
	Toux	Feuille	25,00
	Rhumatisme	Feuille	20,83
	Diabète	Feuille	15,34
	Asthénie	Feuille / Racine / Ecorce	12,50
	Gale	Feuille	10,42
	Ulcère	Feuille / Racine / Ecorce	8,33
	Diarrhée	Feuille	7,34
	Vomissement	Feuille / Fruit	6,15
	Halitose	Fruit / Tige	5,42
	Asthme	Feuille	5,18
	Troubles sexuels	Racine / Ecorce	4,58
	Abcès	Feuille	4,17
	Drépanocytose	Rameau feuillé	2,92
	Myopathie	Feuille	1,67

Tableau 4. Vertus et recettes relatives à l'utilisation de *U. tripetala* au sud-Bénin

Maladies et signes cliniques	Organes utilisés	Association	Mode de préparation	Voie d'administration
Paludisme	Feuille / Rameau feuillé / Ecorce / Racine	Eau / eau d'amidon / fruit de <i>Citrus aurantifolia</i> / feuille de <i>Citrus aurantifolia</i> / feuille de <i>Cymbopogon citratus</i> / feuille de <i>Dialium guineense</i> / feuille de <i>Mangifera indica</i>	Décoction / Infusion	Orale
Maux de ventre	Feuille / Racine / Ecorce	Eau + fruits de <i>Piper guineense</i>	Décoction	Orale
Rougeole	Feuille / Racine / Ecorce	Eau	Décoction/Infusion	Orale
Carie dentaire	Tige / Rameau feuillé / Ecorce / Fruit	Eau	Décoction / Mastication	Orale
Toux	Feuille	Eau	Décoction	Orale
Rhumatisme	Feuille	Eau	Décoction	Orale
Diabète	Feuille	Eau	Décoction	Orale
Asthénie	Feuille / Racine / Ecorce	Eau	Décoction / Mastication	Orale
Gale	Feuille	Eau + beurre de <i>Vitellaria paradoxa</i> + feuille de <i>Momordica charantia</i>	Trituration	Cutanée
Ulcère	Feuille / Racine / Ecorce	Eau	Décoction / Mastication	Orale
Diarrhée	Feuille	Eau	Décoction	Orale
Vomissement	Feuille / Fruit	Eau	Décoction / Mastication	Orale
Halitose	Fruit / Tige	-	Mastication	Orale
Asthme	Feuille	Eau	Décoction	Orale
Troubles sexuels	Racine / Ecorce	Alcool	Macération	Orale
Abcès	Feuille	Eau + Feuille de <i>Momordica charantia</i>	Trituration	Cutanée
Drépanocytose	Rameau feuillé	Eau	Infusion	Orale
Myopathie	Feuille	Eau	Infusion / Trituration	Orale / Cutanée

La valeur globale de la diversité des usages de *U. tripetala* ainsi que celle de l'équitabilité des connaissances sont respectivement 7,77 bits et 0,98. Ces valeurs sont élevées indiquant une forte diversité de connaissance des populations locales. Mais ces connaissances sont inégalement réparties au sein des différentes couches socioculturelles. Le degré d'homogénéité des connaissances de *U. tripetala* a ses fortes valeurs chez les ethnies Holli (ID = 6,24 bits ; IE = 0,96) et Mahi (ID = 6,12 bits ; IE = 0,99), chez les vieillards (ID = 6,94 bits ; IE = 0,97) ; chez les femmes (ID = 4,60 bits ; IE = 0,98) et chez les illettrés (ID = 6,83 bits ; IE = 0,98) (tableau 5).

Tableau 5. Variation du nombre d'usages de *U. tripetala* et degré d'homogénéité par enquête

Catégories socioculturelles	Couches socioculturelles	Nombre d'usages détenus par enquête			Indice de diversité de l'enquête (ID)	Indice d'équitabilité de l'enquête (IE)
		Nombre minimal	Nombre maximal	Nombre moyen		
Ethnie	Adja	2	5	3,88 ± 0,10	2,96	0,98
	Fon	1	7	2,97 ± 1,24	5,90	0,98
	Holli	1	7	3,36 ± 1,90	6,24	0,96
	Mahi	1	6	3,44 ± 0,90	6,12	0,99
	Nagot	1	4	2,88 ± 0,84	2,76	0,98
Age (a)	Jeunes (a < 30 ans)	1	4	3 ± 1,73	1,38	0,87
	Adultes (30 ≤ a < 60 ans)	1	7	3,19 ± 1,33	6,55	0,98
	Vieillards (≥ 60 ans)	1	7	3,35 ± 1,52	6,94	0,97
Sexe	Féminin	2	7	3,73 ± 1,43	4,60	0,98
	Masculin	1	7	3,23 ± 1,43	2,92	0,38
Niveau d'instruction	Illettrés	1	7	3,27 ± 1,61	6,83	0,98
	Lettrés de niveau primaire	1	7	3,26 ± 1,19	6,35	0,98
	Lettrés de niveau secondaire	2	6	3,57 ± 1,27	4,44	0,98
	Lettrés de niveau universitaire	2	4	3,00 ± 1,41	0,92	0,92
Milieu d'étude		1	7	3,29 ± 1,44	7,77	0,98

3.4 INFLUENCE DES FACTEURS DETERMINANT LES CONNAISSANCES D'USAGES DE *U. TRIPETALA*

Le test d'indépendance de Chi-2 montre que les fréquences de citation des différentes catégories d'usages de *U. tripetala* dépendent des variables liées à l'ethnie, au sexe, au niveau d'instruction puis l'âge ($p < 0,05$) (tableau 6). Pour les autres catégories socioculturelles (profession et religion), la fréquence de citation des différentes catégories d'usages n'induit pas de variation significative d'une couche socioculturelle à l'autre ($p > 0,05$) (Tableau 6). Ceci indique que les groupes cibles enquêtés n'accordent pas la même importance aux espèces en ce qui concernent leurs différentes formes d'utilisations.

Tableau 6. Dépendance entre les fréquences de citation des catégories d'utilisation et les caractéristiques socioculturelles (Ethnie, Sexe, Niveau d'instruction, Age, Profession, Religion)

Catégories socioculturelles	Chi-2	P-value
Ethnie	102,250	0,000
Sexe	14,623	0,012
Niveau d'instruction	28,545	0,018
Age	26,535	0,003
Profession	9,977	0,822
Religion	10,067	0,435

L'Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) appliquée aux catégories d'usages de *U. tripetala* donne une inertie totale de 88, 93 % (soit 48,96 % pour l'axe F1 et 39,97 % pour l'axe F2). Ces seuils d'inertie paraissent suffisants pour garantir une précision d'interprétation et tirer un certain nombre d'information.

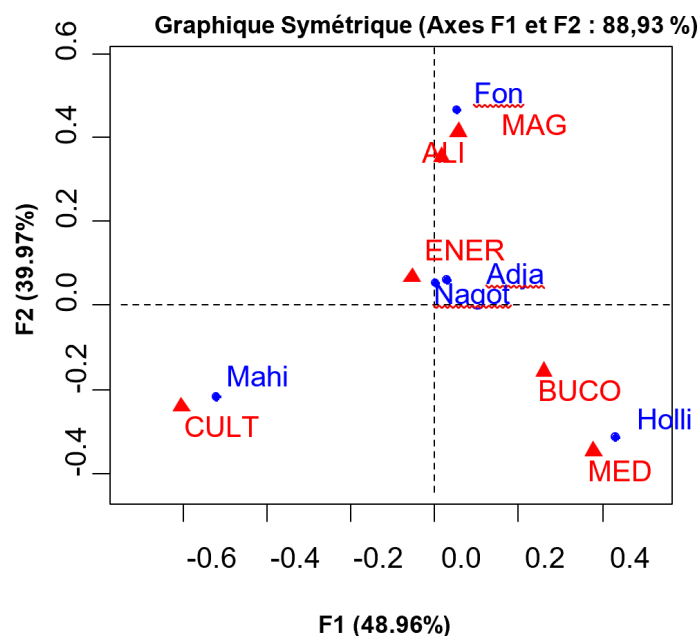


Fig. 4. Carte factorielle de la perception des populations sur les catégories d'usages de *U. tripetala* (Catégories d'usages : ALI : Alimentaire ; MAG : Magie ; ENER : Bois énergie ; BUCO : Hygiène des organes ; MED : Médecine traditionnelle humaine ; CULT : Culturel)

Après analyse de la figure 4, il ressort que les ethnies Nagot et Adja utilisent majoritairement *U. tripetala* dans la catégorie bois énergie tandis que les Fon en font des usages dans les catégories magie et alimentation. Les Holli détiennent plus de connaissances sur les usages en médecine traditionnelle humaine et hygiène des organes alors que les Mahi en font l'usage spécifique dans le domaine culturel.

4 DISCUSSION

4.1 DEGRE DE CONNAISSANCE ENDOGENE ET DIVERSITE DES USAGES DE *U. TRIPETALA*

U. tripetala est connue et adoptée par la population locale du sud-Bénin. L'importance locale de l'espèce a permis de savoir que 94 % des enquêtés détiennent plusieurs connaissances sur ses usages. De nombreuses études se sont focalisées, au cours de cette dernière décennie au Bénin, sur l'importance culturelle des plantes endogènes [42-46]. Toutefois, aucune d'entre elles n'a décrit les usages de *U. tripetala*. Les populations locales lui affectent plusieurs dénominations dans leur langue maternelle. En rapport avec la nomenclature traditionnelle, il est fréquent qu'une même espèce porte plusieurs noms locaux [47]. Cette étude fait le même constat. Ceci constitue une contribution importante à la documentation des différentes appellations de l'espèce. Selon [48], les dénominations des plantes mettent en évidence des caractéristiques écologiques, morphologiques, socioculturelles ou des informations sur leurs usages. Par ailleurs, la signification des noms vernaculaires « Kinwi », « Kinwi axi », « lèlou » et « Makpɔ̀dè » de l'espèce *U. tripetala* n'a pu être retrouvée, malgré la participation de personnes âgées aux enquêtes. Si l'on tient compte du fait que la dénomination des plantes n'est jamais le fruit du hasard, cette observation dénoterait une perte sensible des connaissances relatives à l'étymologie et aux significations littérales des noms vernaculaires [48].

La présente étude a permis de montrer que *U. tripetala* est une espèce à usages multiples et à valeur d'utilisation élevée au sud-Bénin. En effet, vingt-quatre (24) usages ont été répertoriés. En dehors des usages de *U. tripetala* reconnus au Bénin, d'autres ont été rapportés au Nigeria. Il s'agit des utilisations de *U. tripetala* sous forme de palissade [49], d'épices et d'assaisonnement [24] et la commercialisation des fruits au marché [49;21]. Cette variation dans les utilisations peut s'expliquer par les différences culturelles, les traits socioculturelles, l'environnement, le niveau de connaissance sur l'espèce et les besoins des populations locales. L'utilisation de *U. tripetala* pour guérir les maladies rapportées par les enquêtés se justifie par les propriétés antinociceptives, antiémétiques et anti-inflammatoires [49], antihyperglycémiantes [50], analgésiques et chimiothérapeutiques [23], antifongiques [51], insecticides [52] puis antioxydantes et bactéricides [27] etc. Sur le plan alimentaire, les fruits de *U. tripetala* sont hautement nutritifs [23;25]. Cette haute valeur alimentaire peut justifier l'importance relative de la consommation des fruits par les populations locales notamment chez les ethnies Fon, Mahi et Holli.

Par ailleurs, ces fruits demeurent sous valorisés et ne font l'objet de commerce sur le marché local au Bénin contrairement au Nigéria où ils sont commercialisés [21-22]. Dans le domaine cultuel, l'une des manières la plus fréquente d'usage de *U. tripetala* est la coupe de ses jeunes tiges pour le culte « Oro ». Par ailleurs, il faut noter que les tiges de *U. tripetala* ne sont pas utilisées comme chicotte dans la commune de Zogbodomey. Ceci peut s'expliquer par la variation des chicottes utilisées pour le fétiche « Oro » d'une région à une autre. Aussi l'accès aux prélèvements des tiges de *U. tripetala* dans la forêt classée de la Lama est sous le contrôle des agents des eaux et forêts. L'intensité de prélèvement des tiges de *U. tripetala* la forêt Ewè-Adakplamè constitue sans doute un signe défavorable à la conservation *in situ* de l'espèce. Ceci se justifie par le fait que la forêt Ewè-Adakplamè est menacée de disparition à cause de l'absence d'une structure locale de gestion avec pour conséquence les coupes anarchiques de bois et l'empiètement dû à l'agriculture [17]. Il urge donc de sensibiliser les populations sur les techniques rationnelles de prélèvement des organes des espèces afin de ne pas entamer la possibilité de bénéficier durablement des services de la forêt.

4.2 REPARTITION DES CONNAISSANCES PAR ETHNIE, AGE, SEXE ET NIVEAU D'INSTRUCTION

Parmi les facteurs discriminants, en matière de connaissances et d'utilisations de *U. tripetala* dans les communes de Zogbodomey et Kétou, figurent en bonne place l'ethnie, le sexe, l'âge et le niveau d'instruction. Par contre, il n'existe pas de différence statistiquement significative selon la profession et la religion. Cette inégale répartition des connaissances suivant l'ethnie, l'âge, le sexe et le niveau d'instruction pourrait conduire à une érosion des connaissances en matière de la sauvegarde et de la conservation des valeurs endogènes surtout que ce n'est qu'une frange de la population qui les détient [53-55]. La différence de connaissance des usages de *U. tripetala* par les ethnies est confirmée par les résultats des Analyses Factorielles des Correspondances. Au Bénin, les ethnies diffèrent par leurs habitudes culturelles et culturelles, leur savoir-faire, leur savoir-vivre qu'elles se transmettent de génération en génération [56]. S'agissant de l'âge et le niveau d'instruction, les vieillards (54,12 %) sont plus nombreux dans la détention des connaissances endogènes de ces plantes aromatiques que les jeunes (1,57 %). Ces personnes âgées aussi illettrées (54,9 %) qu'elles soient ; sont aussi censées fournir des informations plus fiables, du fait qu'elles détiennent une bonne partie du savoir endogène qui fait partir de la tradition orale [7]. Il est indiqué que ces savoirs ne sont détenus souvent que par des personnes âgées de 50 ans et plus avec un faible niveau d'instruction [57]. L'étude a révélé aussi qu'il existe une différence significative entre les catégories d'usages de *U. tripetala* suivant le sexe au sein des enquêtés avec un sex-ratio homme / femme : 7,8. Ceci traduit une faible implication des femmes dans la connaissance des usages de ces plantes. Par exemple dans le domaine cultuel, ce sont les hommes qui s'accordent fortement sur la valeur des espèces pour leurs usages comme chicotte pour le fétiche « Oro ». Ceci peut se justifier par le fait que le fétiche « Oro » n'est pas l'apanage des femmes. Aussi, la faible proportion des femmes dans la détention de ces savoirs peut s'expliquer par la primauté accordée aux hommes dans la majorité des sociétés africaines en matière d'héritage, de droit de propriété et de succession au sein du système lignager patrilineaire en vigueur [58].

5 CONCLUSION

En somme, *U. tripetala* est une plante aromatique médicinale à usages multiples et à haute valeur socioculturelle au niveau des populations locales du sud-Bénin. Divers organes (fruits, racines, feuilles, rameaux feuillés, tiges, écorces) de l'espèce sont sollicités dans les catégories d'usages alimentaire, magique, médicinale, cultuelle, énergie domestique et l'hygiène bucco-dentaire. Les organes les plus utilisés sont les tiges dans le domaine cultuel, les feuilles en médecine traditionnelle et les fruits sur le plan alimentaire. Les divers usages de ces organes indiquent une connaissance endogène de l'espèce et constituent un aspect socioculturel important dans la vie des populations locales. L'ethnie, le sexe, l'âge et le niveau d'instruction sont les facteurs qui influencent significativement la connaissance et les utilisations de *U. tripetala*. À la lumière des résultats obtenus, il faut élargir la présente étude à d'autres localités d'occurrence de l'espèce et au sein des autres groupes socioculturels, afin de disposer des informations suffisantes pour un meilleur plan de valorisation et de conservation de *U. tripetala*. Des études complémentaires sur les aspects écologiques, phénologiques et la germination des semences devraient être davantage explorées pour la domestication de cette ressource forestière et le maintien de la diversité biologique.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient particulièrement les populations des communes de Kétou et de Zogbodomey qui ont volontiers accepté de partager leurs connaissances, ainsi que les guides de terrain pour tout le temps consacré lors de la collecte des données de terrain.

REFERENCES

- [1] E. E. Ezebilo, "Conservation of a leafy vegetable important for communities in the Nigerian rainforest", *Forest Ecology Management*, vol. 259, no. 8, pp. 1660-1665, 2010.
- [2] P. Kumar et H. Lalramnghinglova, "India with Special Reference to an Indo-Burma Hotspot Region", *Ethnobotany Research & Applications*, vol.9, pp. 379-420, 2011.
- [3] Aké-Assi E., Adou Y. C., Ipou Ipou J., Neuba D., Aké-Assi L. et Traoré D, *Représentations des plantes ornementales pour les populations d'Abidjan et San Pedro, en Côte d'Ivoire*, In: X. van der Burgt, J. vander Maesen et J-M. Onana (Eds.), *Systématique et Conservation des Plantes Africaines*, Kew: Royal Botanic Gardens, pp. 289-296, 2010.
- [4] G. Perumal, "Ethno-medicinal use of Pteridophyte from Kolli Hills, Namakkal District, Tamil Nadu", *India Ethnobotanical Leaflets*, vol. 14, pp. 161-172, 2010.
- [5] B. Fandohan, A. E. Assogbadjo, R. Glele Kakaï, Kyndt T and B. Sinsin, "Quantitative morphological descriptors confirm traditionally classified morphotypes of *Tamarindus indica* L. fruits", *Genetics Resources and Crop Evolution*, vol. 58, pp. 299-309, 2011.
- [6] M. M. Sangaré, H. Sina, J. Dougnon, B. Bayala, J-M. Ategbo et K.L. Dramane, "Etude ethnobotanique des plantes hépatotropes et de l'usage traditionnel de *Gomphrena celosioides* Mart. (Amaranthaceae) au Bénin", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 6, no. 6, pp. 5008-5021. 2012.
- [7] G. H. F. Gbesso, J. Logbo, O. T. Loughégnon, J.T.C. Codjia, "Biodiversité et valeurs d'usage des plantes utilisées comme arômes traditionnels par les populations du plateau d'Allada au Sud Bénin", *Revue CAMES - Pharmacopée et médecine traditionnelle africaine*, vol. 18, no. 2, pp.1-12, 2017.
- [8] S. N'danikou, E. G. Achigan-Dako and L. L. G. Wong, "Eliciting local values of wild edible plants in Southern Benin to identify priority species for conservation", *Economic Botany*, vol. 65, no. 4, pp. 381-395, 2011.
- [9] Anton, R., Lobstein, A. et Teuscher F., *Plantes aromatiques: épices, aromates, condiment et huile essentielle*, Ed: Tec et doc. Paris, 2005.
- [10] Alloun, K. M., *Composition chimique et activités antioxydante et antimicrobienne des huiles essentielles de l'aneth (*Anethum graveolens* L.), de la sauge (*Salvia officinalis* L.) et de la rue des montagnes (*Ruta montana* L.)*, Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique El-Harrach-Alger, 2013.
- [11] Karima, T. T., *Extraction et caractérisation des huiles essentielles de dix plantes aromatiques provenant de la région de Kabylie (Nord Algérie). Evaluation de leurs effets sur le bruché du niébé *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera : Bruchidae)*. Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2015.
- [12] J. El Amri, K. Elbadaoui, T. Zair, H. Bouharb, S. Chakir et T. I. Alaoui, "Étude de l'activité antibactérienne des huiles essentielles de *Teucrium capitatum* L. et l'extrait de *Silene vulgaris* sur différentes souches testées", *Journal of Applied Biosciences*, vol. 82, pp. 1-16, 2014.
- [13] N. Chahboun, A. Esmail, H. Abed, M. Barrahi, R. Amiyare, M. Berrabeh, H. Oudda et M. Ouhssine, "Evaluation de l'activité bactériostatique d'huile essentielle de *la Lavandula Officinalis* vis-à-vis des souches d'origine clinique résistantes aux antibiotiques", *Journal of Materials and Environmental Science*, vol. 6, no. 4, pp. 1186-1191, 2015.
- [14] L. W. Chatrou, R. H. J. Erkens, J. E. Richardson, R. M. K. Saunders and M. F. Fay, "The natural history of Annonaceae", *Botanical Journal of the Linnean Society*, vol. 169, pp. 1-4, 2012.
- [15] Le Ven, J., *Contribution à l'étude du lien entre Annonaceae et parkinsonismes : identification et quantification d'acétogénines par dérégulation ; métabolisation de phase I et approche de la distribution de l'annonacine*. Thèse de doctorat, Université Paris-Sud, 2012.
- [16] Davo, E., *Contribution à l'évaluation de la biodiversité des espèces de faunes aviennes des collines*. Mémoire de maîtrise Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Université d'Abomey-Calavi, 2011.
- [17] Adomou A. C., Agbani O. P. et Sinsin B, *Plantes*. In: P. Neuenschwander, B. Sinsin et G. Goergen (Eds.), *Protection de la Nature en Afrique de l'Ouest: Une Liste Rouge pour le Bénin*, Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture, pp. 21-46. 2011.
- [18] Hawthorne, W., *Uvariopsis tripetala*. *The IUCN Red List of Threatened Species 1998*:e.T34669A9882298.<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T34669A9882298> en, 1998.
- [19] Akoègninou, A., Van der Burg, W. J. et Van der Maesen L. J. G., *Flore Analytique du Bénin*, Backhuys Publishers, Wageningen, 2006.
- [20] I. A. Oyemitan, E. O. Iwalewa, M. A. Akanmu, S. O. Asa et T. A. Olugbade, "Le potentiel abusif de la consommation habituelle des fruits de *Dennettia tripetala* G. Baker (Annonaceae) chez les habitants du canton d'Ondo (Nigéria)", *Journal of Natural Products and Medicine*, vol. 10, pp. 55-62, 2006.
- [21] Mure, A., *Marketing and contribution of pepper fruit (*Dennettia tripetala*) to rural household income in rainforest belt of Nigeria*, Unpublished thesis, Federal University of Agriculture of Nigeria, 2013.

- [22] E. G. Oboho, S. A. Ogedegbe and O. P. Taiwo, "Effect of fruit ripeness status and netting on the germination and early growth of *Dennettia tripetala* G. Baker seedlings", *Journal of Agricultural and Crop Research*, Vol. 3, no. 8, pp. 123-129, 2015.
- [23] S. O. Iseghohi, "A Review of the Uses and Medicinal Properties of *Dennettia tripetala* (Pepper fruit)", *Medical sciences*, vol. 3, pp. 104-111, 2015.
- [24] B.O. Ejechi and D. E. "Akpomedaye, Activity of essential oil and phenolic acid extracts of pepper fruit (*Dennettia tripetala* G. Baker) against some foodborne microorganisms", *African Journal of Biotechnology*, vol. 4, pp. 258-261, 2005.
- [25] D. E. Okwu and F.N.I. Morah, "Mineral and nutritive value of *Dennettia tripetala* fruits", *Fruits*, vol. 59, pp. 437-442, 2004.
- [26] N.P. Okolie, A. Falodun and O. Davids, "Evaluation of the antioxidant activity of the root extract of Pepperfruit (*Dennettia tripetala*) and its potential for the inhibition of lipid peroxidation", *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, vol. 11, pp. 221-227, 2014.
- [27] S. O. Okoh, B. C. Iweriegbor, O. O. Okoh, U. U. Nwodo and A. I. Okoh, "Bactericidal and antioxidant properties of essential oils from the fruits *Dennettia tripetala* G. Baker", *BMC Complementary and Alternative Medicine*, vol. 16, pp. 486-497, 2016.
- [28] E. Nwachukwu et J. Osuji, "Évaluation d'extraits de plantes pour l'activité antifongique contre le *Sclerotium rolfsii* causant la pourriture du cormel Cocoyam dans le stockage", *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, vol. 4, pp. 784-787, 2008.
- [29] E. Thomas, I. Vandebroek, S. Sanca and P. Van Damme, "Cultural significance of medicinal plant families and species among Quechua farmers in Apillapampa, Bolivia", *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 122, pp. 60-67, 2009.
- [30] Akoègninou, *Recherches botaniques et écologiques sur les forêts actuelles du Bénin*, Thèse d'Etat, Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire), 2004.
- [31] Adomou, A.C., *Vegetation patterns and environmental gradient in Benin: Implications for biogeography and conservation*, PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands, 2005.
- [32] A. M. Igué, A. Saidou, A. Adjanohoun, G. Ezui, P. Attiogbe, G. Kpagbin, H. Gotoechan-Hodonou, S. Youl, T. Pare, I. Balogoun, J. Ouedraogo, E. Dossa, A. Mando et J. M. Sogbedji, "Evaluation de la fertilité des sols au sud et centre du Bénin", *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, Numéro spécial, pp. 12-23, 2013.
- [33] INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse économique), *Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH4): Que retenir des effectifs de population en 2013 ?* INSAE, Bénin, 2015.
- [34] Dagnelie, P., *Statistiques théoriques et appliquées*, Bruxelles, De Boeck et Larcier, 1998.
- [35] C. A. Adomou, G. H. Dassou, H. Yédomonhan, G. A. Favi, J. M-A S. Ouachinou, M. J. M. Aboudja et G. A. H. Houénon, "Analyse des connaissances traditionnelles et des déterminants relatifs à l'utilisation de *Newbouldia laevis* (P. Beauv.) Seemann ex Bureau (Bignoniaceae) au Sud-Bénin", *Afrique Science*, vol. 14, no. 1, pp. 194-205, 2018.
- [36] Shannon, C. E. et Weaver W., *The mathematical theory of communication*. University. Illinois Press-Urbana, Chicago III, 1949.
- [37] A. Byg and H. Baslev, "Diversity and use of palms in Zahamena, eastern Madagascar", *Biodiversity and Conservation*, vol. 10, pp. 951-970, 2001.
- [38] A. A. Wédjangnon, T. Houèthégnon et C. Ouinsavi, "Caractéristiques ethnobotaniques et importance socio-culturelle de *Mansonia altissima* A. Chev. au Bénin, Afrique de l'Ouest", *Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. 29, no. 3, pp. 4678-4690, 2016.
- [39] J. Tardío et M. Pardo-De-Santayana, "Indices d'importance culturelle : Une analyse comparative basée sur les plantes sauvages utiles de Cantabrie méridionale (nord de l'Espagne)", *Economic Botany*, vol. 62, no. 1, pp. 24-39, 2008.
- [40] Badou, B. R., *Ethnobotanique, écologie et phénologie de la reproduction sexuée de *Syzygium guineense* (Willd.) DC. subsp. *macrocarpum* (Engl.) F. White (Myrtaceae) en zone soudano-guinéenne (Bénin)*, Thèse de Doctorat de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 2017.
- [41] R Core Team, *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2018R.
- [42] G. A. Assogba, A. B. Fandohan, V. K. Salako et A. E. Assogbadjo, "Usages de *Bombax costatum* (Malvaceae) dans les terroirs riverains de la réserve de biosphère de la Pendjari, République du Bénin", *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 333, no. 3, pp. 17-33, 2017.
- [43] A. B. Fandohan, F. J. Chadaré, G. N. Gouwakinnou, C. F. Tovissode, A. Bonou, S. F. B. Djonlonkou, L. F. H. Houndelo, C. L. B. Sinsin et A. E. Assogbadjo, "Usages traditionnels et valeur économique de *Synsepalum dulcificum* au Sud-Bénin", *Bois et Forêts des Tropiques*, vol. 332, no. 2, pp. 17-30, 2017.
- [44] O. T. Loughbegnon, K. M. Nassi et G. H. F. Gbesso, "Ethnobotanique quantitative de l'usage de *Chrysophyllum albidum* G. Don par les populations locales au Bénin", *Journal of Applied Biosciences*, vol. 95, pp. 9028- 9038, 2015.
- [45] C. Dadjo, A. E. Assogbadjo, B. Fandohan, R. L. Glèlè Kakaï, S. Chakeredza, T. D. Houéhanou and B. Sinsin, "Uses and management of black plum (*Vitex doniana* Sweet) in Southern Benin", *Fruits*, vol. 67, no. 4, pp. 239-248, 2012.

- [46] K. Koura, J. C. Ganglo, A. E. Assogbadjo and C. Agbangla, "Ethnic differences in use values and use patterns of *Parkia biglobosa* in Northern Benin", *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, vol. 7, no. 42, pp. 1-12, 2011.
- [47] Doh, K. S., *Plantes à potentialité antidiabétique utilisées en médecine traditionnelle dans le District d'Abidjan (Côte d'Ivoire): étude ethnobotanique, caractérisation tri phytochimique et évaluation de quelques paramètres pharmacodynamiques de certaines espèces*, Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody-Abidjan (Côte-d'Ivoire), 2015.
- [48] Ambé G-Y. et Malaisse F., *Diversité des plantes médicinales et ethnotaxonomie en pays Malinké de Côte d'Ivoire*. In: J. Fleurentin, J-M Pelt, et G. Mazars (Eds.), *Des sources du savoir aux médicaments du futur*, IRD Éditions, Marseille: Société française d'ethnopharmacologie, pp. 331-338, 2002.
- [49] I. A. Oyemitan, E. O. Iwalewa, M. A. Akanmu and T. A. Olugbade, "Antinociceptive and anti-inflammatory effects of essential oil of *Dennettia tripetala* G. Baker (Annonaceae) in Rodents", *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, vol. 5, no. 4, pp. 355-362, 2008.
- [50] A. O. Anaga and I. U. Asuzu, "Antihyperglycaemic Properties of the Ethyl acetate Extract of *Dennettia tripetala* in Diabetic Rats", *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, vol. 7, no. 1, pp. 1-11, 2010.
- [51] E. Nwachukwu and J. Osuji, "Evaluation of Plant Extracts for Antifungal Activity Against *Sclerotium rolfsii* Causing Cocoyam Cormel Rot in Storage", *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, vol. 4, pp.784-787, 2008.
- [52] E. Adjalian, P. Sessou, F. T. D. Bothon, J. Dangou, T. Odjo, G. Figueredo, J-P. Noudogbessi, D. Kossou, C. Menut and D. Sohounhloue, "Chemical composition and bioefficacy of *Dennettia tripetala* and *Uvariadendron angustifolium* leaves essential oils against the angoumois grain moth, *Sitotroga cerealella*", *International Journal of Biosciences*, vol. 5, no. 8, pp. 161-72, 2014.
- [53] A. Bio, S. S. M. Toyi, J. Yoka, G. J. Djego, B. Awede, A. Laleye et A. B. Sinsin, "Contribution aux connaissances des principales plantes antihypertensives utilisées en médecine traditionnelle à Bassila (Bénin, Afrique de l'Ouest)", *Revue CAMES – Pharmacopée et médecine traditionnelle africaine*, vol. 17, no. 2, pp. 8-18, 2015.
- [54] G. C. Akabassi, E. A. Padonou, F. J. Chadare et A. E. Assogbadjo, "Importance ethnobotanique et valeur d'usage de *Picralima nitida* (stapf) au Sud-Bénin (Afrique de l'Ouest)", *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 11, no. 5, pp. 1979-1993, 2017.
- [55] I. Issa, K. Wala, M. Dourma, W. Atakpama, M. Kanda et K. Akpagana, "Valeur ethnobotanique de l'espèce *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss (Meliaceae) auprès des populations riveraines de la chaîne de l'Atacora au Togo", *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, vol. 6, no. 1, pp. 64-72, 2018.
- [56] M. T. Donou Hounsode, A. E. Assogbadjo, T. Houéhanou, R. L. Glèlè Kakaï et C. Agbangla, "Facteurs socioéconomiques influençant l'usage des Raphias au Bénin (Afrique de l'Ouest)", *Revue. CAMES - Série, Science de la Vie, de la Terre et Agronomie*, vol. 4, no. 1, pp. 2424-7235, 2016.
- [57] A. S. Gnagne, D. Camara, N. B. Y. Fofie, K. Bene, G. N. Zirihi, "Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement du diabète dans le Département de Zouénoula (Côte d'Ivoire)", *Journal of Applied Biosciences*, vol. 113, pp. 11257-11266, 2017.
- [58] Yangni-Angate, A., *La revalorisation de la médecine traditionnelle*, Abidjan, Edition du CEDA, 2004.

Theoretical Confirmation of Seasonal and Solar Radiation Impacts on Outdoor Atmospheric Aerosols (PM_{2.5}, SO₂ and CO) in FCT Abuja, Nigeria

M. S. Shehu¹, I. Umaru², O. Adedeji³, A.A. Mundi², and R.S. Lawal⁴

¹Department of Physics, Baze University Abuja, Nigeria

²Department of Physics, Nasarawa State University, Keffi Nigeria

³National Space Research and Development Agency Nigeria

⁴Department of Physics & Astronomy, University of Nigeria, Nsukka, Nigeria

Copyright © 2019 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: Aerosols PM_{2.5}, SO₂ and CO were studied within the Federal Capital Territory of Nigeria (F.C.T Abuja), the area comprises of 6 (six) councils “AMAC, Abaji, Bwari, Kuje, Kwali and Gwagwalada”. The study covered a period of one year (2017-2018), irrespective of the seasonal variation of the study area, the impacts of aerosols on incident solar energy for the period was observed. The National Space Research and Development Agency (NASRDA) uses the atmospheric satellites (AS) data of within an altitude 6 Km from the ground level. The data came in NETCDF format, which was extracted by a specialized software called the Arc Map 10.4.1, converted and exported in DBF format which can be read by Microsoft excel. The study shows that the human population in F.C.T increased with ($r = 2.6 \pm 1$) months per year which negatively affect the aerosol concentrations and the seasonal impact analysis conform to adiabatic process with respect to the atmospheric variables, as the concentrations were found to be higher in dry than in wet season. Also the Solar radiation impact study reveals a change within solar insolation range of 5.5-6.5 Kwh/m²/day(CO), 2.8-4.5 Kwh/m²/day (SO₂) and 4.0-6.5 Kwh/m²/day (PM_{2.5}) and a percentage decrease of 8.42 %, 29.50 %, and 2.87 % was recorded respectively. Which implies a relative impact of solar energy on aerosol (i.e. higher intensity solar energy also reduces a small fraction of the atmospheric aerosol) and vice-versa.

KEYWORDS: Biological Modeling, Atmospheric Aerosol, Seasonal Impact, Adiabatic process, Solar Radiation Impact & Energy forecasting.

1 INTRODUCTION

Air pollution produce aerosols which are especially felt in areas that record high economic growth and rapid urbanization, places in Nigeria such as Abuja, Kano, Lagos and Kaduna.etc. FCT Abuja is the least in population but yet the fastest growing city in the country with many compacted areas. Human activities are the major sources of these ubiquitous specks of matter due air pollutions called aerosols. But can also be found in the air over oceans, deserts, mountains, forests, ice, and every ecosystem. Their range in size is from a few nanometers less than the width of the smallest viruses to several tens of micrometers about the diameter of human hair. Despite their small size, they have major impacts on our climatic conditions and health of the inhabitants. ^[1]

1.1 IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON AEROSOL

Aerosols absorb and scatter solar radiation, the solar radiation reflections to outer space (backscattering) result in reduction of incoming solar radiation to the earth's surface, which also leads to a great loss of energy and a cooling of the climate system.

^[1] Aerosols also interact with vegetation through changes in incoming solar Radiation, fraction of diffuse radiation and as a source of nutrients. These are other contributions to aerosol surface interactions with solar radiation. ^[2]

More evidence are stated on climatic change impact in this analysis with precision, which includes the aerosols impact in cloud formations. Indeed there would be far fewer clouds in the air without aerosols. It was found in most recent studies that, presence of large quantities of aerosols in the cloud, leads to more droplets of cloud cover than normal, but. Since cloud droplets are smaller and more numerous, clouds last longer before reaching the saturation point. ^[3], therefore reflection of sunlight will be stronger in a period when the aerosols concentration is lower than normal. This effect could have significant implications on the climate (solar intensity). As the clouds reflect more sunlight, less of the sun's energy reaches the surface of the earth, which then cools the earth. This implies that by putting more aerosols in the atmosphere, humans have the potential to alter their climatic system and cause global cooling. ^[4]

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 STUDY AREA

Abuja is a place with latitude (9.0765 °N) and longitude (7.3986 °E) located in the West Africa. In year 2015, it was known as the fastest growing city in Africa. (nigeria realestate hub.com) Abuja is the capital city of Nigeria located in the center of the country within the Federal Capital Territory (FCT).

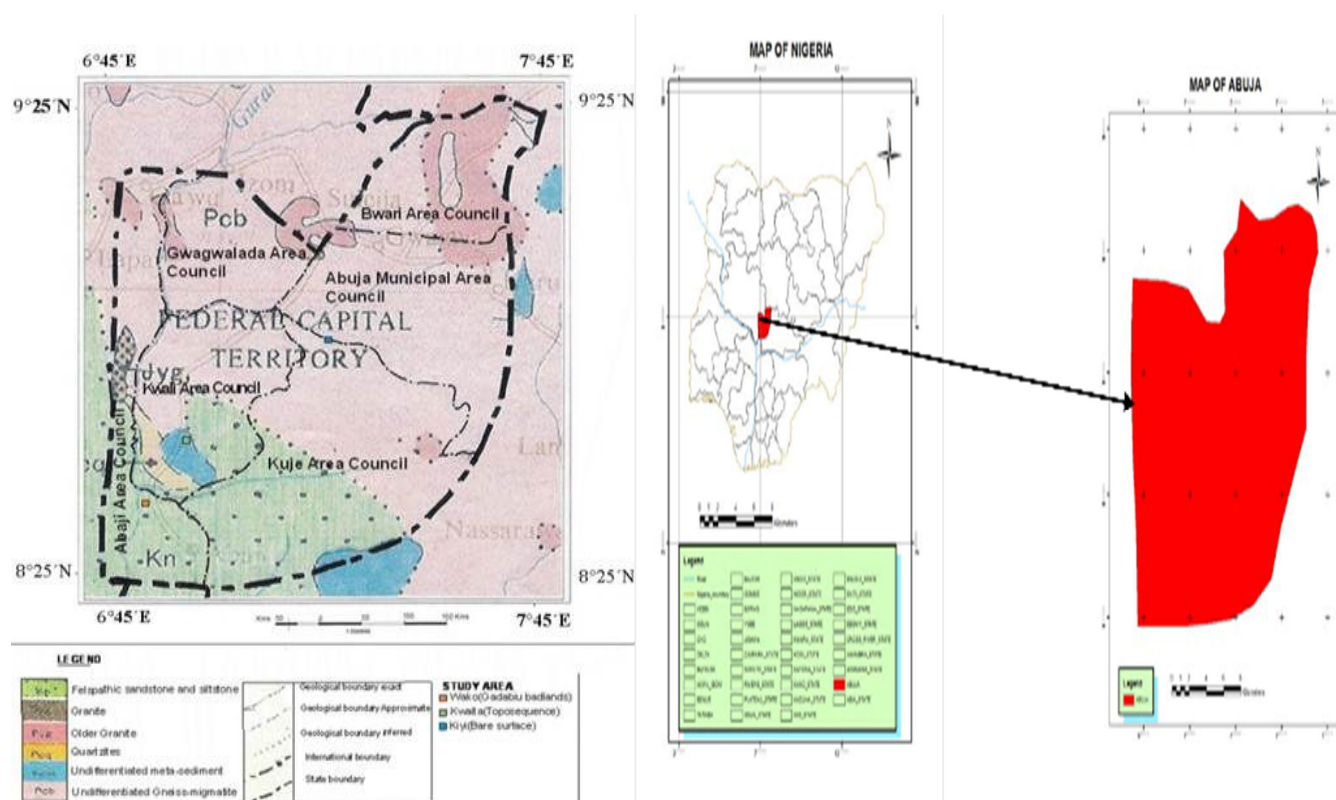


Fig. 1. Map of FCT Abuja (Source: Google Map)

2.2 METHODS OF DATA COLLECTION

Data was collected by National Space Research and Development Agency (NASRDA), Abuja Nigeria, through the ECMWF site. Which was extracted from the study regions for about four different time intervals: 00:00:00, 06:00:00, 12:00:00, and 18:00:00. For 16 out of 24 hours daily throughout the year 2017. The coordinates of Abuja was used to select the area to be downloaded. The Polar Atmospheric satellites information came in NETCDF format, which was extracted by a specialized software called the Arc Map 10.4.1 by following these procedures. Ma NETCDF layer was made together with the Copy Raster, tools in the Multi-dimensional toolbox of Arc Map 10.4.1 respectively. After extraction, Abuja shape file was clipped from Nigeria and imported into the software and the provinces in Abuja and then converted from features to points, from the tool

in the data management toolbox and the coordinates of these points assigned using the “ADD XY CORDINATES” found in the coverage toolbox. The points and coordinates was used to extract values from the processed data using the “Extract multi-values to points” tool in the spatial analysis toolbox. The extracted values for the different provinces in Abuja were exported in DBF format which was read by Microsoft Excel. Finally the extracted values were imported into Excel window, the data cleaned, charts and graphs plotted to show trends and relationships. The process are repeated for all the variables obtained. And the annual solar irradiance data was collected from Nigerian Meteorological Agency NIMET. [4-6]

2.3 THEORETICAL BACKGROUND

The mean pollution index gives an absolute mean concentrations of the pollutant under study is calculated using equation 1.

$$\text{Pollution mean concentration} = \frac{\partial_{max} + \partial_{min}}{2} \quad (1)$$

Where

∂_{max} is the maximum concentration acquired daily for the period of one year

∂_{min} is the minimum concentration acquired daily for the period of one year

These computations are presented in table 1 to 3. [6-8]

2.3.1 BIOLOGICAL MODELLING OF THE HUMAN POPULATION

Population increase rate of the F.C.T = 8.9 % per year, $\approx \frac{0.089}{12} = 0.0742$ % per months

Study period = 1 year = 2017 – 2018 years = 12 months.

X is the individual population

r is the growth rate of the human population

$$\frac{dy}{dx} = rX \quad (2)$$

$$t \frac{dy}{dx} = rX + t \quad (3)$$

Therefore (1) can be expressed as:

$$X(t) = X(0)e^{rt} \quad (4)$$

$$\Rightarrow \frac{dy}{dx} = f(X, t) \quad (5)$$

$$\text{If } f(X, t) = X(t)T(t) \quad \text{Case. 1}$$

$$\Rightarrow \frac{dy}{dx} + P(t)X = Z(t)$$

$$\text{If } f(X, t) = X(t)T(t) \quad \text{Case. 2}$$

$$\frac{X(12)}{X(0)} = e^{12r} = 12 + 0.00742 = 12.00742$$

$$\ln(12.00742) = 12r$$

$$\Rightarrow r = 0.207 \text{ months} \approx 2.6 \text{ months per year}$$

This implies that human population in F.C.T increased with ($r = 2.6 \pm 1$) months per year, which will also increase the human activity rate, that leads to a higher concentrations in aerosols.

2.3.2 SEASONAL AND SOLAR RADIATION IMPACT

Naturally during rainy season, air quality is generally better. The particulate matters concentrations are mostly higher in the months of November to March and it usually gives a lower trend in the wet season which normally started from April and ended October. Rain makes a solid particles (dust) stick to ground, in such a way that more pressure would be required to kick them up, also according to adiabatic processes, dew point temperature of the atmospheric aerosol depend on the water vapor

content, therefore a range should be taken, the air parcel will keep expanding during the unsaturated (dry adiabatic lapse rate) until it reaches a saturation point (Moist adiabatic lapse rate) then compression will begin thereby leading to a speedy movement before condensation. Figure 2. Represents the adiabatic process of the seasonal (Dry to Wet) variation of atmospheric aerosols in Abuja, Nigeria.

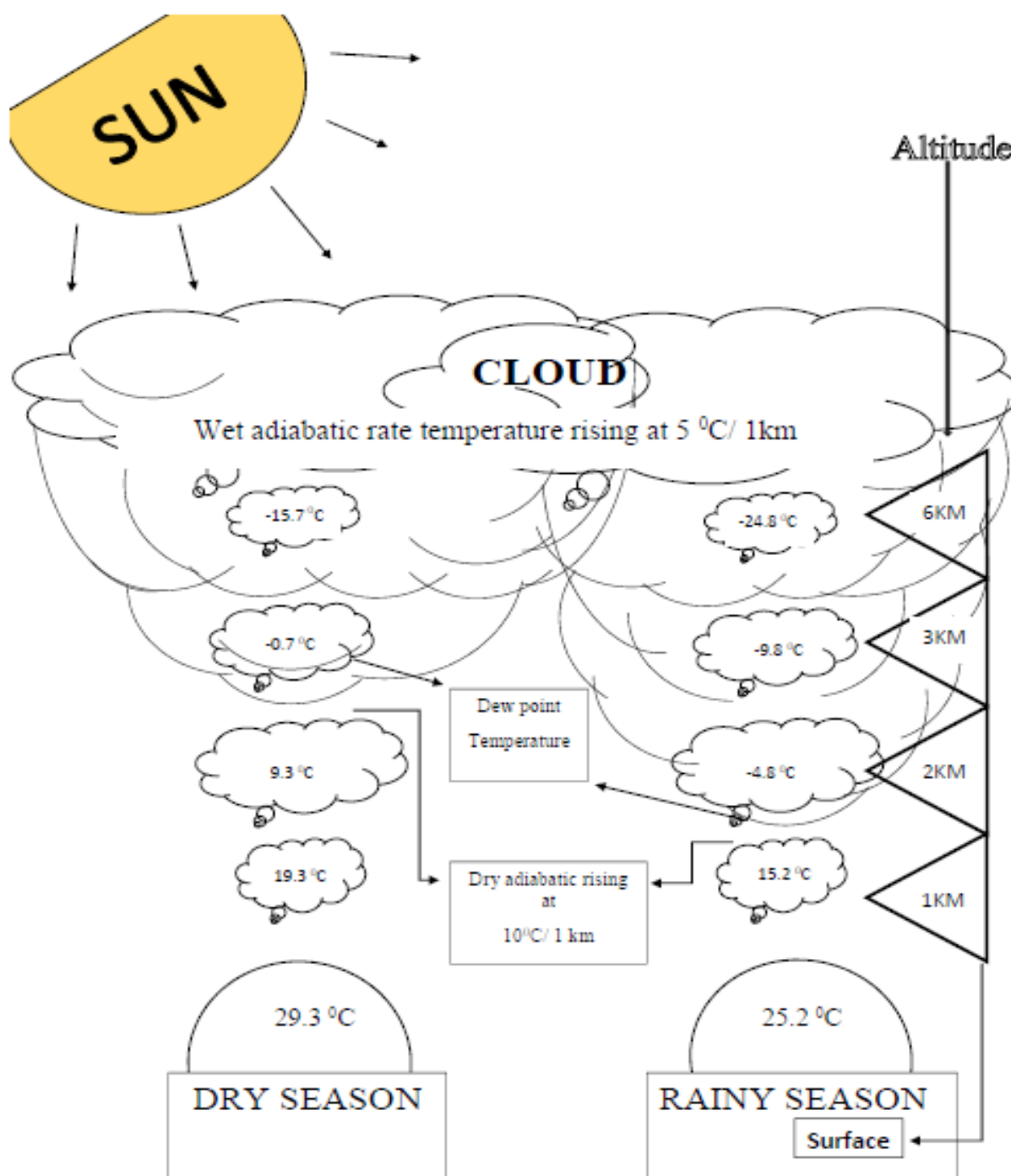


Fig. 2. Adiabatic process for seasonal variation of atmospheric aerosols in Abuja, Nigeria

For Solar Radiation, it was analyzed for the same locations, and the trend of the pollutants was considered irrespective of the normal seasonal variation, this will give a proper images for the impacts of aerosols and thereby understanding the impacts of a solar radiation on aerosol. This was carried out by comparing the monthly mean solar radiation incident on a horizontal surface of Abuja, with the pollutant concentrations.

$$\delta_g = \delta_d + \delta_b \cos(z) \quad (6)$$

Where

δ_g = irradiance on a horizontal surface, δ_d = diffuse irradiance, δ_b = direct beam irradiance on a surface perpendicular to the direct beam, z = Sun's zenith angle. ^[9]

As presented in equation 6, only the period when solar zenith angle that coincide with the latitude of Abuja is at minimum can validate a maximum solar irradiance. From table 4, the peak solar irradiance in a horizontal surface was achieved in a month of February.

3 RESULTS AND DISCUSSION

Concentrations of PM_{2.5}, SO₂ and CO were observed and the trend is higher in dry than in wet season. This agrees with a recent studies carried out by Akinfolarin OM, Boisa, Obunwo, Ede and Gobo. The higher concentrations reported could be attributed a scavenging effect of the atmosphere and dissolving gaseous pollutants during the wet season. Where there is high rainfall, air quality is generally better. The particulate matters in all the area councils were mostly higher in the months of November to March and shows lower trend in the wet season which usually started from April and ended in October as shown in Table 1 to 3. It was demonstrated with a clear graphical format stated in Figure 3 to 5. Many Studies have shown that suspended particulate matter in industrial zones are higher due to emissions from Auto-mobile machineries, roads, wind-blown and a dust from some construction industry and their vehicles which can also be washed away by a regular rainfall. ^{[10-11], [12]}

3.1 SEASONAL IMPACT RESULT

Concentrations of PM_{2.5}, SO₂ and CO were observed and the trend is higher in dry than in wet season. This agrees with Air quality study in Port Harcourt, Nigeria. ^{[10], [12]}

As represented in Table 1 to 3 The result of the PM_{2.5}, SO₂ & CO seasonal impact analysis shows that the pollutant concentrations in all the area councils were found to be higher in dry than in wet season with maximum of about a percentage 93.5 % drop from 1.0×10^{-6} to 6.5×10^{-8} ppm for SO₂, 47.09 % drop from 4.2201 to 2.2328 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for PM_{2.5} and 33.33 % drop from 1.5×10^{-3} to 1.0×10^{-3} ppm for CO. The result can be compared with a study on aerosols impact on human health in Abuja, Nigeria, specifically the emission of CO to general public. During the wet season CO was 5 ppm 8 hourly mean below all standards which rises slightly to above 15 ppm 8 hourly mean between Tukpechi, Tuje town and Chibiri districts, which is approximately about 66.66 % drop. ^[13]

According to this study from table 1, PM_{2.5} trend during the wet season gives a range from 2.1189 - 2.9883 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3.2821 - 3.8348 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4.0832 - 4.4903 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4.0001 - 4.0881 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2.2348 - 2.4098 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 3.5324 - 3.6788 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ while in dry season are 2.5439 - 3.2161 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3.4126 - 3.9654 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4.2311 - 4.8828 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4.0386 - 4.0986 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2.4038 - 2.7349 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 3.6340 - 3.8035 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for Abaji, AMAC, Bwari, Gwagwalada, Kuje and Kwali respectively. This result relates with PM_{2.5} study by "Rumuolumeni, Oginigba, Eleme and Omuanwa". which reveals a concentrations ranging from 8.90-22.40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 18.70-34.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 11.05-31.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 2.90 - 7.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in wet season and 181.35-245.65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 148.85-300.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 149.90-182.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 143.80 156.75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in dry season in four different places of Port Harcourt. According to adiabatic processes, the whole system depend on the surface temperature, therefore the study areas will be safer in wet than in dry season. ^[9]

The Lower concentrations reported in wet season, could be attributed to a scavenging effect of the atmosphere and dissolving gaseous pollutants during the season. Where there is high rainfall, air quality is generally better. Therefore particulate matters in all the area councils were mostly higher in the months of November to March and shows lower trend in the wet season which usually started from April and ended October. Many studies have shown that suspended particulate matter in industrial zones are higher due to emissions from Auto-mobile machineries, roads, wind-blown and dust from some construction industry and their vehicles. ^[11]

3.2 SOLAR RADIATION IMPACT RESULT

Investigation of the solar radiation impact on aerosols was done by taking a comparism of the aerosol data with solar radiation data as presented in Table 1, 2 & 3, with the PMC in Table 4.

According to this study, PM_{2.5}, CO & SO₂ will have less effect unless the aerosol residence time is long enough. Solar radiation range within 3.8-4.5 Kwh/m²/day for CO, 2.8-4.5 Kwh/m²/day for SO₂ and 4.0-6.5 Kwh/m²/day for PM_{2.5}. Aerosol will only accumulate in the environment and worsen the effect if the radiation stays within such range of values and the concentrations will increased over the threshold. Figure 3 shows a decrease in the concentrations of SO₂ with an increase in solar irradiance in the month of February, August and December to January. Figure 4 shows a decrease in the concentrations of CO with an increase in solar irradiance in the month of February to March, August, and October and Figure 5 shows a decrease in the concentrations of PM_{2.5} with an increase in solar irradiance in the month of March, June, and December and vice versa. The trend of pollutants in this study, irrespective of the normal seasonal variation in solar radiation, and with orientation of the graphs presented on the listed Figures implies that an increase in aerosol concentration leads to a decrease in solar radiation also and vice versa. This agrees with a recent study carried out by Akinfolarin, et al. [11], [12]

The Solar radiation impact result for PM_{2.5}, SO₂ & CO shows that the pollutant concentrations in all the area councils decreases at different solar zenith angle that coincided with the latitude of the study area is achieved, which happen to be in the peak of the dry season from "January to March" with percentage drop of 29.50 % drop from 2.8-4.5 Kwh/m²/day for SO₂, 2.87 % drop from 4.0-6.5 Kwh/m²/day for PM_{2.5} and 8.42 % drop from 5.5-6.2 Kwh/m²/day for CO. The result can be compared with a study reported in 2007, the study confirmed that an Aerosols warms locally the atmosphere by up to 0.98Kday⁻¹, whereas they can cool the earth's surface by up to 2.9Kday⁻¹. Which indirectly reduced the aerosols concentrations down to 50 % of its initial value which correlate with a study from the literature review by Chou & Hatzianastassiou *et al.* [2], [14]

Table 1. Monthly Mean Data for Particulate Matter (PM_{2.5}) for 16 hours.

MONTHS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Abaji	3.2161	3.0994	2.5439	2.4550	2.4550	2.9883	2.5661	2.1189	2.7772	3.0110	3.0995	3.4355
AMAC	3.8348	3.5126	3.4126	3.4126	3.8348	3.6237	3.3237	3.2821	3.4237	3.7348	3.8349	3.9654
Bwari	4.4903	4.2322	4.2311	4.2134	4.3903	4.4903	4.2590	4.0978	4.0832	4.2903	4.3032	4.8828
Gwagwalada	4.1581	4.0981	4.0386	4.0658	4.0881	4.0881	4.0281	4.0001	4.0081	4.0281	4.0986	4.2201
Kuje	2.5838	2.4838	2.4038	2.4008	2.4068	2.4098	2.3228	2.2328	2.2348	2.3608	2.4794	2.7349
Kwali	3.6885	3.6778	3.6340	3.6240	3.6388	3.6788	3.6104	3.5334	3.5328	3.5324	3.6385	3.8035

Table 2. Monthly Mean Data for Carbon-monoxide CO (ppm) for 16 hours.

MONTHS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
Abaji	0.0015320	0.0015536	0.0013607	0.0013399	0.0011009	0.0010441	0.0009998	0.0319271	0.0009952	0.0010036	0.0011849	0.0011922
AMAC	0.0014587	0.0015112	0.0013123	0.0013304	0.0010933	0.0010301	0.0009809	0.0314333	0.0009769	0.0009913	0.0011616	0.0011712
Bwari	0.0014234	0.0014770	0.0012736	0.0013177	0.0010829	0.0010143	0.0009605	0.0307851	0.0009568	0.0009781	0.0011323	0.0011408
Gwagwalada	0.0014896	0.0015260	0.0013214	0.0013315	0.0010938	0.0010303	0.0009808	0.0313319	0.0009770	0.0009931	0.0011602	0.0011671
Kuje	0.0015054	0.0015505	0.0013614	0.0013448	0.0011053	0.0010494	0.0010064	0.0322351	0.0010016	0.0010069	0.0011966	0.0012075
Kwali	0.0015262	0.0015539	0.0013644	0.0013419	0.0011027	0.0010470	0.0010037	0.0320883	0.0009990	0.0010054	0.0011909	0.0011995

Table 3. Monthly Mean Data for Sulphur-dioxide SO₂ (ppm) for 16 hours.

MONTHS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Abaji	0.00000092666	0.00000006	0.00000008	0.00000003	0.00000002	0.00000001	0.00000001	0.00000001	0.00000000	0.00000001	0.00000005	0.00000008
AMAC	0.04166755185	0.00000006	0.00000008	0.00000003	0.00000002	0.00000001	0.00000001	0.00000001	0.00000000	0.00000002	0.00000005	0.00000007
Bwari	0.08333420440	0.00000006	0.00000008	0.00000003	0.00000002	0.00000001	0.00000001	0.00000000	0.00000001	0.00000002	0.00000005	0.00000007
Gwagwalada	0.12500091320	0.00000006	0.00000008	0.00000003	0.00000002	0.00000001	0.00000001	0.00000001	0.00000000	0.00000002	0.00000005	0.00000008
Kuje	0.16666756806	0.00000005	0.00000008	0.00000003	0.00000002	0.00000001	0.00000001	0.00000001	0.00000000	0.00000001	0.00000005	0.00000008
Kwali	0.20833425113	0.00000006	0.00000008	0.00000003	0.00000002	0.00000001	0.00000001	0.00000001	0.00000000	0.00000001	0.00000005	0.00000008

Table 4. Monthly Mean irradiation incident on a horizontal surface of Abuja (Marionhs) kwh/m²/day and a Monthly Average surface temperature (Mast) For In °C

Months	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEPT	OCT	NOV	DEC
Marionhs ^[14] (kwh/m ² /day)	5.88	6.09	6.27	6.06	5.58	5.04	4.73	4.19	4.73	5.31	5.98	5.86
Mast (°C) ^[14]	27.6	29.3	30.2	28.9	27.3	26.0	25.1	25.2	24.9	26.3	26.9	26.7

Table 5. Summary of Seasonal Impact Analysis on Aerosol

Aerosol	Maximum concentrations November to March	Minimum concentrations April to October
PM ₂	4.2201 µg/m ³	2.2328 µg/m ³
SO ₂	1.0× 10 ⁻⁶ ppm	6.5× 10 ⁻⁸ ppm
CO	1.5× 10 ⁻³ ppm	1.0× 10 ⁻³ ppm

Table 6. Summary of Solar Radiation Impact Analysis on Aerosol

Aerosol	Approximate solar Irradiance that might lead to a change in Aerosol Concentration of the study area (kwh/m ² /day)	Percentage Decrease in Aerosol due Incident Solar radiation
PM ₂	4.0-6.5	2.87 % Decrease from Jan – Mar.
SO ₂	2.8-4.5	29.50 % Decrease from Jan-Mar.
CO	5.5-6.2	8.42 % Decrease from Feb-Mar.

Table 7. Comparism between the Maximum Concentrations Acquired and Annual Standard Based On WHO Guidelines

Aerosol	Max. Concentration acquired. ^[14]	Approved Annual Standard. ^[14] (WHO/NIOSH)
PM ₂	4.8828 µg/m ³	10 µg/m ³
SO ₂	0.20 ppm	20 µg/m ³ or 0.00002 ppm
CO	0.0015886 ppm	0.01ppm

Table 8. Approximate human population increase in a year

STATE	Human Population ^[4]		Average population ^[4] increase
	2017	2018	
FCT ABUJA	3,247,608	3,564,126	8.9 %

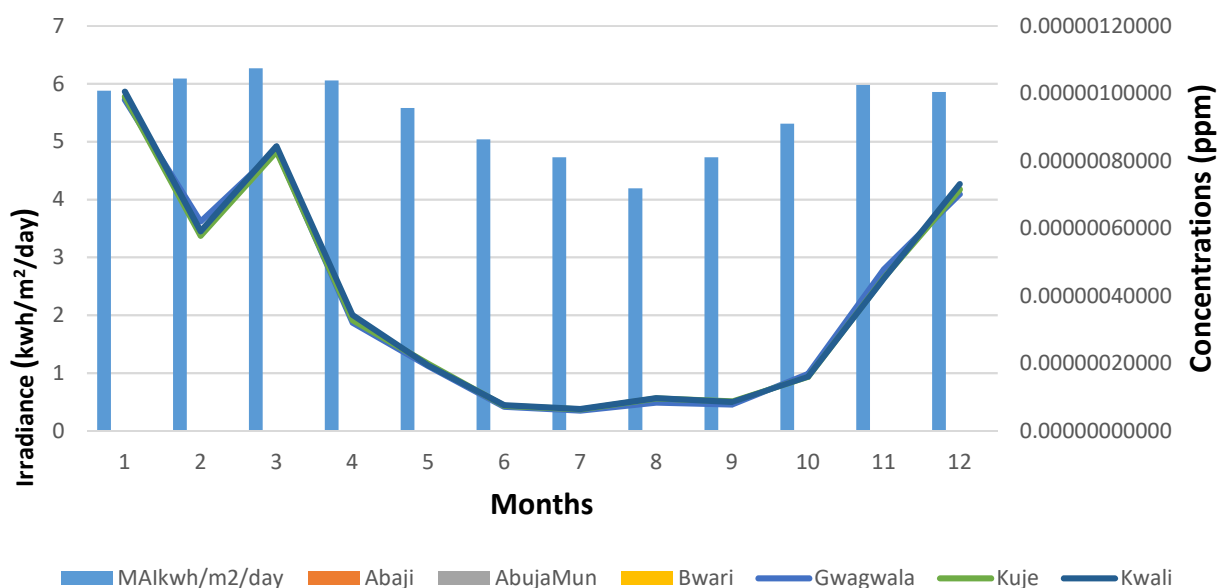


Fig. 3. Sulphur dioxide (SO₂) monthly mean concentration versus the monthly Mean Radiation incident

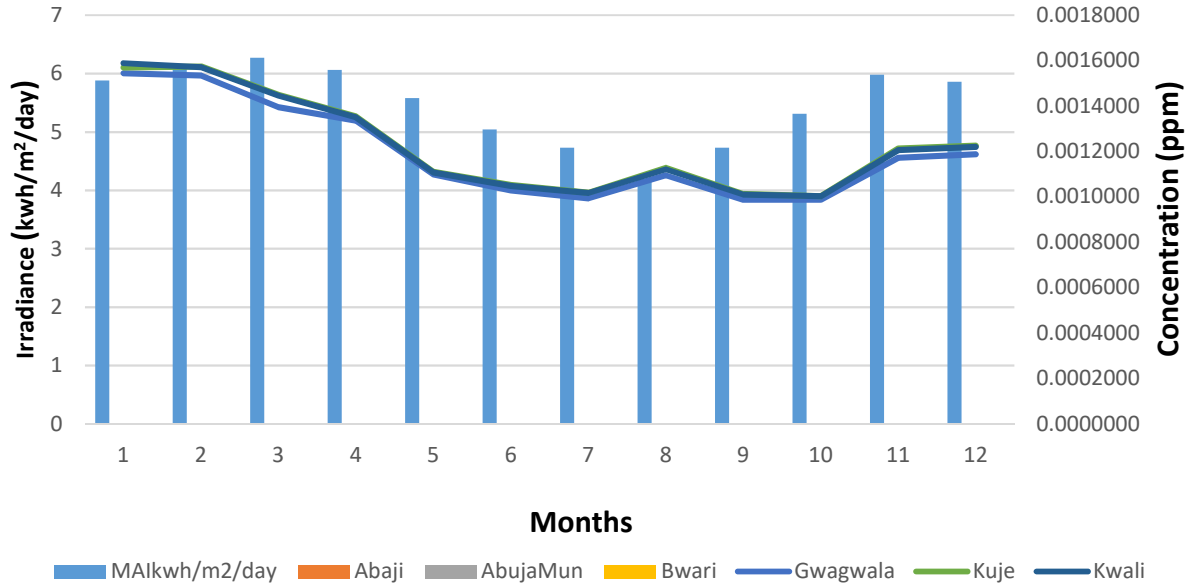


Fig. 4. Carbon monoxide (CO) monthly mean concentration versus the monthly Mean Radiation incident

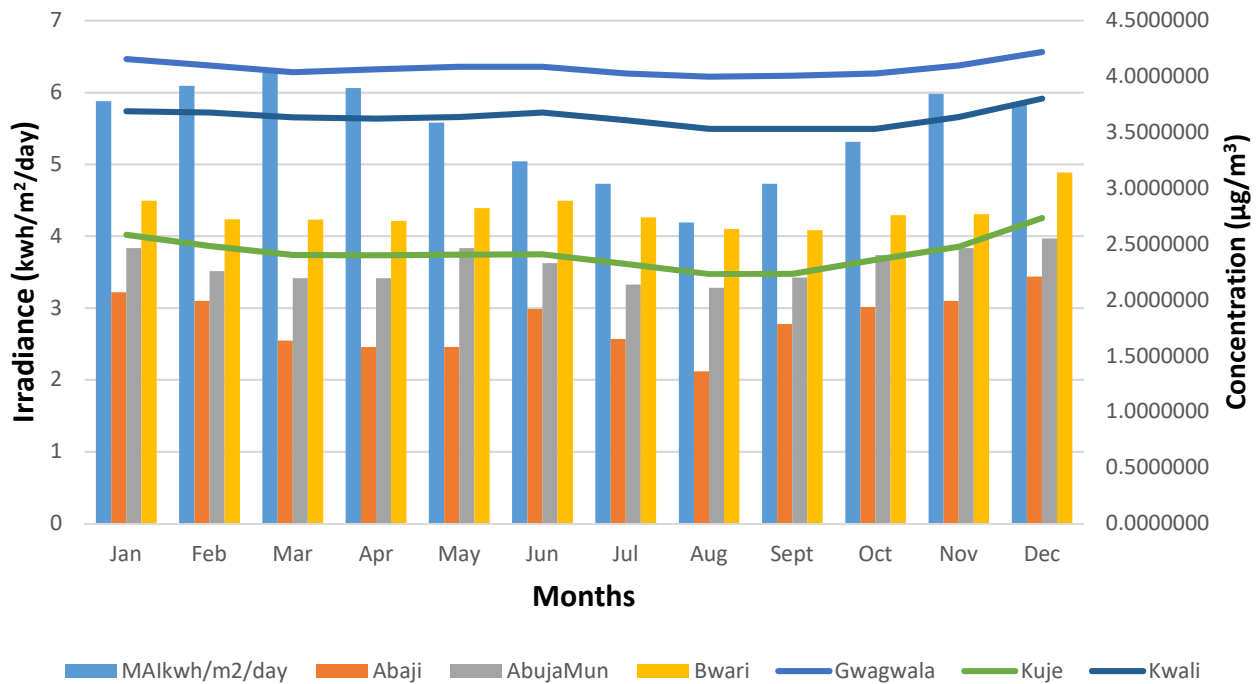


Fig. 5. Particulate Matter ($PM_{2.5}$) monthly mean concentration versus the monthly Mean Radiation incident

4 CONCLUSIONS

Findings on seasonal impact analysis indicates an increase in aerosol concentrations with a decrease in solar insolation and vice versa. The study implies that human population in FCT Abuja increase in about (2.6 ± 1) months per year, irrespective of the general mortality in human, these reveals a relative increase in human activity rate that may resulted in higher emission in outdoors. The concentration ratio from dry to wet season drops in order of about $8.4 \times 10^{-2}\%$, $7.5 \times 10^{-3}\%$ & $9.4 \times 10^{-15}\%$ in $PM_{2.5}$, CO and SO_2 respectively. The study also confirmed that solar radiation of higher intensity also reduces a small fraction of the atmospheric aerosol down to 2.87 %, 8.42 % & 29.50 %, in $PM_{2.5}$, CO and SO_2 respectively. These percentage will increase

and accumulate in the environment and worsen the effect over time, only if the approximate radiation intensity was maintained. The effects is as a result of the cloud saturations, leading to a temporal raindrop which was indirectly due to solar radiation and also due to the atmospheric instability.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors appreciate the contributions of their affiliated institutions, Baze University Abuja, (BUA), Nasarawa State University, Keffi (NSUK), National Space Research and Development Agency (NASRDA) and University of Nigeria, Nsukka, Nigeria.

REFERENCES

- [1] O Boucher, *review of Geophysics journal*. Vol 3, issue 8, p 513–543. (2015)
- [2] Chou *et al*, *Biochemical and Biophysical Research Communications*. Vol 3, p 767-775. (2006)
- [3] AP Kumar and K Krishna, *Urban Climate Research, India*: Department of Remote Sensing, Birla Institute of Technology, Mesra Ranchi 835215, Jharkhand, Vol 20, p 94-119. (2017)
- [4] NIMET, *Nigerian Meteorological Agency*, Seasonal Solar Energy Prediction (Srp) (2017)
- [5] C O Osueke, P Uzendu, ID Ogbonna, *international journal of emerging technology & advanced engineering*, Nigeria, Vol 3, issue 6, p 2250-2459. (2013)
- [6] M.S.Shehu, I. Umaru, and B.W.Tukura, "Health Impact Analysis of Some Outdoor Atmospheric Aerosols (Pm_{2.5}, SO₂, CO & CH₄) in F.C.T Abuja and Environs, Nigeria." *American Journal of Public Health Research*, Vol. 7, no. 1, p 1-8 (2019)
- [7] EPA, *Department of Health and Environment Protection Agency*, Victoria. (2014)
- [8] W Ahmad, N Sobia, N Muhammad and H Rahib, *Journal of national center of excellence in geology*, university of Peshawar, hattar: Pakistan haripur, Vol 1, p 25120. (2013)
- [9] P Fu and PM Rich, *the solar Analyst 1.0 Manual*. Helios Environmental Modelling Institute (HEMI), USA. (2000)
- [10] O M Akinfolarin, N Boisa, CC Obunwo, *journal of Environmental Analytical Chemistry*. Vol 4, p 224-255. (2017)
- [11] A Akuro, *Journal of Applied Science & Environmental Management*, Remediation Head Assurance & Governance, Shell Petroleum Development Company of Nigeria Ltd. 2016, Vol 1, p 137 – 146. (2012)
- [12] AE Gobo, TJ Ideriah, TE Francis and HO Stanley, *Journal of Applied Science Environmental Management*, Rivers State, Nigeria, Vol 16, p 75-83. (2012)
- [13] FP Lympson, *carbonmonoxide emission*, its impact on human health in Abuja, Nigeria.
<https://www.researchgate.net/publication/276278580>, (2015)
- [14] Hatzianastassiou *et al*, *Journal of Atmospheric Chemistry & Physics*, reanalysis datasets, and spectral aerosol optical properties from Global Aerosol Data Set (GADS); Vol 7, p 2585 –2599. (2007)
- [15] WHO, *Air Quality and health*. www.who.int.retrieved 2011-11-26. (2016)

Atouts et faiblesses d'une gestion autonome des forêts classées impliquant les populations locales au Burkina Faso

[Strengths and weaknesses of autonomous management of classified forests by local populations in Burkina Faso]

Joachim BONKOUNGOU¹, Jérôme COMPAORE¹, Farid TRAORE¹, Passingbamba SAMA², Boureima SAWADOGO³, and Nanawindin ZABRE³

¹INERA/CREAF Kamboinsé, 01 BP 476 Ouagadougou 01, Burkina Faso

²Consultant, BERACIL, Burkina Faso

³Master 2 géographie, Université de Ouagadougou, Burkina Faso

Copyright © 2019 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: Burkina Faso has 14% of its territory covered by classified forests. The state ensures an increasingly participative management. However, the trend of degradation and deforestation continues and these classified forests play little part in the fight against poverty. A joint diagnosis made it possible to measure the ardent need of local populations to be more involved, which could lead to real ownership. The paper investigated the strengths and weaknesses of empowering forest management involving local people. After a literature review, the study conducted individual surveys and focus group interviews with local populations, technical agents, and forest management groups (FMGs), customary authorities and local elected officials. The empowerment of management for the benefit of local people can be based on various contracts between the state and the private sector and / or communities. FMGs do not report to local people and seem to be the only local beneficiaries of this centralized state management. In order to put an end to this trend of degradation and to make local people benefit from their forests, an involvement towards empowerment is essential, especially in this context of climate change.

KEYWORDS: Governance, protected areas, empowerment, climate change, Burkina Faso.

RÉSUMÉ: Le Burkina Faso a 14% de son territoire couvert par des forêts classées. L'Etat y assure une gestion de plus en plus participative. Mais la tendance à la dégradation et à la déforestation se poursuit et ces forêts classées participent peu à la lutte contre la pauvreté. Un diagnostic conjoint a permis de mesurer le besoin ardent des populations riveraines d'être plus impliquées, ce qui pourrait conduire à une appropriation réelle. L'article a investigué les atouts et les faiblesses d'une autonomisation de la gestion des forêts impliquant les populations locales. Après une revue documentaire, l'étude a mené des enquêtes individuelles et des entretiens de groupes cibles avec les populations riveraines, les agents techniques, les groupes de gestion des forêts (GGF), les autorités coutumières et les élus locaux. L'autonomisation de la gestion au profit des populations locales peut s'appuyer sur les contrats divers entre l'Etat et le privé et/ou les communautés. Les GGF ne rendent pas compte aux populations locales et semblent être les seuls bénéficiaires locaux de cette gestion centralisée de l'Etat. Afin de mettre fin à cette tendance à la dégradation et faire profiter les populations locales de leurs forêts, une implication allant vers l'autonomisation est indispensable, surtout dans ce contexte de changement climatique.

MOTS-CLEFS: Gouvernance, aires protégées, autonomisation, changement climatique, Burkina Faso.

1 INTRODUCTION

Les forêts jouent un rôle important, aussi bien dans l'alimentation humaine que la régulation du climat terrestre (Bonkougou 2018). Elles sont notamment responsables de la séquestration du carbone, principal gaz à effet de serre (GES), dont la quantité dans l'atmosphère est multipliée depuis l'ère de l'industrialisation (GIEC 2007; GIEC 2014). Ensemble avec d'autres GES, le carbone libéré dans l'atmosphère est la principale cause du réchauffement global. Les forêts constituent par conséquent des puits de carbone.

La tendance actuelle, pour des besoins divers de développement, est la destruction de ces forêts (Kambire et al. 2015; République Démocratique du Congo (RDC) 2015; Westholm and Arora-Jonsson 2015; Westholm and Kokko 2011). Des forêts naturelles sont remplacées par des plantations ou sont détruites lorsqu'elles renferment des richesses fossilisées comme le pétrole ou les métaux précieux. L'augmentation rapide de la population mondiale a pour effet aussi d'augmenter les pressions sur les ressources forestières.

Les forêts classées au Burkina Faso couvrent environ 14% de la superficie (MECV 2007). Elles font face à des déforestations et des dégradations importantes. Les causes sont liées aux activités socioéconomiques qui empiètent sur les domaines forestiers, mais également aux changements climatiques. Une des causes, rarement évoquées, est la faible implication des acteurs locaux dans la gestion de ces forêts classées. Il s'en suit alors leur appropriation strictement minimale. Les actes illégaux se multiplient (Bonkougou and Sama 2017). Ces forêts deviennent alors le lieu privilégié pour l'exploitation illégale des ressources naturelles et du sous-sol et plus récemment le lieu d'implantation de groupes djihadistes.

Le Burkina Faso est dans le processus d'une décentralisation intégrale de son territoire (Ky 2010). Les villages sont regroupés en communes rurales ayant les mêmes limites que les départements, les communes en provinces et en régions. Afin de promouvoir le développement local, un des leviers pour lutter contre la pauvreté, bien présente en milieu rural, des conseils municipaux élus sont mis en place. Et la gestion des forêts classées semble échapper à la gestion des élus locaux.

L'objectif général poursuivi de cet article est d'analyser les atouts et les faiblesses de l'autonomisation de la gestion des forêts classées, impliquant les populations locales, au Burkina Faso. Il sera atteint par une analyse des textes et lois en vigueur en matière de gestion des forêts classées et l'analyse des formes d'autonomisation mises en œuvre. En guise d'hypothèse, les décideurs politiques, notamment ceux en charge de l'environnement, pensent que les acteurs locaux ne peuvent pas assumer correctement des activités la gestion des forêts classées. Une autonomisation de la gestion des forêts classées conduirait inéluctablement à une plus grande dégradation et déforestation.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 OUTILS MÉTHODOLOGIQUES UTILISÉS

Plusieurs outils méthodologiques ont été utilisés dans cette étude. Il s'agit d'abord d'une revue de la documentation. La loi 003/2011 de l'Assemblée Nationale portant code forestier a été largement consulté, de même que la loi 006/2013 portant code de l'environnement au Burkina Faso. Des bibliothèques du ministère en charge de l'environnement, notamment du Programme d'Investissement Forestier (PIF), de la Consolidation de la Gouvernance Environnementale Locale et du Fonds d'Intervention pour l'Environnement ont été visitées afin de consulter les rapports d'études et/ou de suivi-évaluation ainsi que d'autres publications scientifiques disponibles.

Un guide d'entretien a été utilisé afin de s'entretenir avec les structures mises en place pour la gestion participative des forêts. Les résultats de ces entretiens ont été complétés par des fiches d'enquête individuelle administrées dans les sites du PIF. Les villages d'enquête ont été choisis de manière raisonnée pour retenir prioritairement les villages établis dans les forêts ou dans les environs immédiats. Le choix des enquêtés a été aléatoire à partir d'un répertoire des habitants par site choisi.

2.2 SITES D'ÉTUDE ET ÉCHANTILLONNAGE

Les premiers entretiens ont eu lieu dans la province de la Kompienga, région de l'Est et dans la province de l'Oudalan, région du Sahel au Burkina Faso. Ces entretiens entraient dans le cadre de diagnostics conjoints menées au profit de deux projets dont c'était les sites d'intervention. Les seconds entretiens se sont déroulés dans les sites du PIF. Ce programme est mis en œuvre dans six (6) massifs forestiers de quatre (4) régions administratives. Il s'agit de Tapoa-Boopo, province de la Tapoa, région de l'Est ; de Tiogo de la province du Sanguié et Nazinon de la province du Ziro, région du Centre-Ouest, des réserves partielle et totale de faune de Bontioli, province de la Bougouriba et du Poni et Koulbi situé dans la province du Nombiel, région du Sud-Ouest et les petites forêts de Tissé, Nosébou et Soroubouli dans la province des Balé, Kari, Ouoro et Toroba dans la

province du Mouhoun, région de la Boucle du Mouhoun. Ces sites couvrent l'ensemble des trois climatiques qui se partagent le pays : le climat soudanien au Nord dans la région du Sahel, le climat soudano-sahélien pour les régions de l'Est, du Centre-Ouest et la Boucle du Mouhoun et le climat soudanien dans la région du Sud-Ouest. Un guide d'entretien servait pour orienter les échanges qui se sont déroulés avec les membres des groupements de gestion des forêts, les agents des eaux et forêts dans les régions, les provinces et les départements couverts par les forêts, les notabilités traditionnelles et religieuses et les décideurs politiques des conseils municipaux et des comités villageois de développement.

Le choix des sites a été fait de façon raisonnée. Il s'agit de sites de projets et programmes de développement. Il en est de même des villages où les enquêtes sont déroulées. La base de sondage se composait uniquement de villages riverains des forêts. La taille du village et la proximité de la forêt ont été les principaux critères qui ont guidé le choix. Les villages de grande taille ayant un plus grand impact sur les forêts et les plus proches ont été privilégiés. Dans les villages, une liste des ménages est rapidement établie pour servir au regroupement en ménages pauvres, moyens et riches. La taille des champs et les possessions de matériels agricoles et d'animaux d'élevage et/ou de trait ont servi à ce classement. Les ménages à enquêter sont choisis de manière aléatoire dans ces groupes constitués, à raison de 25% pour les pauvres et les riches et 50% pour les ménages moyens. Tous les membres du ménage choisi, âgés de plus de 7 ans, subissaient le questionnaire individuel. Les questions genre étaient ainsi prises en compte. Les femmes chefs de ménage faisaient systématiquement partie de l'échantillon d'enquête.

Cet article intègre aussi les travaux de recherche de deux étudiants chargés de faire l'état des lieux de la gouvernance et de formuler un protocole favorable à une autonomisation de la gestion de la forêt classée de Tiogo, un des sites du PIF. Ils ont administré des questionnaires ménages dans des échantillons représentatifs des douze villages riverains et conduit des entretiens avec les décideurs politiques locaux, les services techniques et les notables.

3 RÉSULTATS

3.1 ENTRETIENS DE GROUPES CIBLES ET ENQUÊTES INDIVIDUELLES

Les entretiens se sont déroulés dans cent quarante-deux (142) villages et dans les chefs-lieux de dix (10) provinces et de cinq (5) régions impliquées. Les enquêtes individuelles ont concerné en tout six mille cent soixante-dix-huit (6 178) dont 45% de femmes, composées de mariées, de veuves, de divorcées et de jeunes filles.

3.2 AUTONOMISATION DE GESTION DES FORÊTS CLASSÉES DANS LE CODE FORESTIER

L'autonomisation de gestion n'est pas prise en compte dans le code forestier 003/AN du 05 avril 2011. L'article 35 affirme que le domaine forestier de l'Etat est géré par ses services forestiers qui sont les garants de la préservation des ressources forestières considérées comme des éléments du patrimoine national (article 33). Leur gestion peut toutefois être confiée à des tiers dans les conditions prévues par la loi. C'est pourquoi, la loi fait référence à des contrats entre des personnes physiques et morales et l'Etat (article 36), assortis de cahiers de charge bien précis qui précisent les conditions d'exploitations et les modalités de répartition des produits. Pour les populations locales riveraines des forêts classées, seuls les droits d'usage traditionnels comme le ramassage de bois morts gisants, de cueillette de fruits mûrs et de récolte de produits médicinaux sans exploitation industrielle sont autorisés. La loi fait obligation aux communautés riveraines des forêts par contre de protéger les forêts. Elle prévoit des approches participatives pour impliquer les populations riveraines organisées et la possibilité d'intégration de la gestion des forêts dans le développement rural. Enfin la loi prévoit de déclasser des forêts au profit des collectivités territoriales.

3.3 FORMES D'AUTONOMISATION DE GESTION DES FORÊTS CLASSÉES

Plusieurs formes d'autonomisation au profit des acteurs locaux ont pu être visitées : il s'agit des contrats avec les communautés et avec des privés à travers les concessions et l'implication des groupements divers de gestion des forêts.

3.3.1 CONTRATS AVEC LES COMMUNAUTÉS LOCALES

Des forêts sont placées sous la gestion de communautés villageoises. Un contrat est signé avec lesdites communautés et le ministère en charge de l'environnement. Un cahier des charges détermine précisément les obligations que doivent observer les communautés et les contreparties qu'elles peuvent en tirer. Dans la plupart des situations, ces communautés se font accompagner par des partenaires techniques et financiers, notamment des ONG intervenant dans le domaine de

l'environnement. Ces dernières lèvent des fonds à l'étranger pour aider les communautés dans la gestion des forêts, objets du contrat. Elles assurent le respect des clauses du contrat et des retombées positives pour les populations locales.

3.3.2 CONCESSIONS

Des ONG signent des contrats directement avec l'Etat pour la gestion de forêts classées. C'est le cas de la Fondation Naturama qui a la charge de la gestion du Parc National Tambi Kaboré (PNKT). C'est une aire protégée créée en 1936 sous l'ère coloniale, puis en 1976 par la Haute Volta. Cette fondation a développé et financé des plans de gestion du PNKT où elle a mis en œuvre des mesures de lutte contre la pauvreté comme la réduction de la pression pastorale, de la dégradation des terres et de génération de revenus.

Des communautés aussi signent des concessions de pêche avec l'Etat pour les étendues d'eau d'importance où la préservation des ressources halieutiques est nécessaire. Des personnes physiques signent également des concessions de chasse avec l'Etat où elles promeuvent le tourisme de chasse et de vision. Chaque concession dispose d'un plan de gestion où des aménagements spécifiques permettent de maintenir dans la concession, des animaux sauvages. Des hôtels y sont construits pour certaines concessions pour loger les touristes. Ce sont d'importantes sources d'entrée de devises pour le pays.

3.3.3 GROUPEMENTS DE GESTION DES FORÊTS

La mise en place de ces groupements est initiée par le ministère en charge de l'environnement, à travers les projets et les programmes. Les membres peuvent se limiter à ceux du même village, ou regrouper plusieurs villages, ou même former une union à l'échelle de la région. Il existe au niveau de la province du Ziro, une Union Générale des Groupements de Gestion des Forêts qui est membre de la Confédération Paysanne du Faso, une organisation faitière du monde rural.

4 DISCUSSION

4.1 RÔLE CENTRAL DE L'ÉTAT DANS LA GESTION DES FORÊTS CLASSÉES

L'Etat, à travers le ministère en charge de l'environnement, joue un rôle dominant dans la gestion des forêts classées au Burkina Faso (Bonkougou and Sama 2017). Ce ministère exerce ce pouvoir à travers les directions techniques mises en place mais également à travers les directions régionales et provinciales et les services forestiers départementaux. C'est un rôle régalien qui doit toutefois faire face à des contraintes de plus en plus croissantes. L'Etat n'a plus les moyens pour assurer cette gestion centralisée (Yelkouni 2001). Les agents forestiers doivent couvrir des superficies importantes pendant que les moyens manquent pour les doter de matériel roulant. La politique de répression jadis appliquée avait éloigné les populations des forêts qui s'étaient adonnées plutôt à des exploitations frauduleuses. Les déforestations et les dégradations sont devenues importantes. Les forêts font l'objet d'une exploitation agricole importante, à telle enseigne que des villages entiers se sont établis dans lesdites forêts où des écoles et des centres de santé et de promotion sociale sont construits (MECV 2007). Certaines de ces forêts classées abritent même des sites miniers, la plupart non-officiels. C'est le cas à Tiogo où l'orpaillage est pratiqué illégalement.

De nos jours des approches participatives ont été adoptées afin d'intéresser davantage ces populations locales à la gestion des forêts classées (Burkina Faso 2011). L'accent a été plutôt mis sur des structures organisées, dans la majeure partie des cas, dictées par les projets et les programmes mis en œuvre par l'Etat. Les structures traditionnelles n'y intervenaient que pour des rites coutumiers faits tous les ans. Les populations non organisées ne sont pas concernées par ces approches participatives.

4.2 BESOIN D'UNE MEILLEURE IMPLICATION DES POPULATIONS LOCALES

Le diagnostic mené autour des forêts classées du PIF a montré que les comités de gestion des forêts n'étaient pas représentatifs des villages (Bonkougou and Sama 2017). Les non-membres des organisations rurales comptaient de 70 à 80% de la population, ce qui bien inférieur aux non-membres des comités de gestion des forêts, entre 82 et 95%. Ces comités de gestion de forêts ne comptaient pas de jeunes. Les plus lettrés n'en étaient pas aussi membres.

Ces comités ne rendent compte qu'aux structures qui les ont mis en place. Des échanges avec les structures traditionnelles de gouvernance, dont la notoriété est toujours prégnante dans les villages, ces comités ne faisaient référence aux structures traditionnelles de gestion que lorsque survenaient des difficultés majeures nécessitant leur intervention. Les structures modernes de gestion, les conseils municipaux des régions et des communes et les comités villageois de développement n'étaient pas aussi impliqués et ne recevaient aucun compte. Ces décideurs politiques locaux souhaiteraient être mieux

impliqués mais les comités de gestion ignoraient leur existence. Les agents forestiers ne sont pas placés sous la gestion des conseils communaux pour faciliter le développement local, mais auprès du préfet.

Malgré la présence des comités de gestion des forêts, le diagnostic a montré que les populations locales désirent être plus impliqués dans la gestion de leurs forêts classées. C'est une étape nécessaire, étant donné le niveau de dégradation et de déforestation constaté, qui, à la longue, ne va plus leur permettre de bénéficier pleinement des services écosystémiques offerts et des revenus additionnels.

4.3 CAPACITÉS DES POPULATIONS RIVERAINES

Lorsque la question de l'autonomisation a été évoquée lors d'une rencontre de validation, l'argument majeure opposée à l'autonomisation est la faible capacité des populations riveraines à assurer une gestion durable et résiliente de ces forêts. Pourtant ces dernières ont fait leurs preuves dans la gestion des forêts et des mares sacrées (Diallo 2008). De plus les populations respectent plus les lois coutumières. Les pêches, selon le chef de village de Tio, riverain de la forêt classée de Tiogo, sont organisées traditionnellement. Les dates de pêche populaire sont décidées et l'invitation est lancée à tous les villages riverains. En dehors de ces dates, personnes n'osent aller faire la pêche dans la forêt.

Il n'y a pas de doute que les capacités actuelles des populations riveraines est faible. Il serait aussi illusoire d'aller à une autonomisation sans un plan précis de renforcement des capacités. Ceci est d'autant plus important que dans ce contexte de changement climatique, les forêts doivent permettre aux riverains d'avoir des revenus additionnels plus importants mais également jouer leur rôle de régulation du climat pour le bénéfice du monde entier.

5 CONCLUSION

Le mode de participation initié par le ministère mérite alors d'être changé, afin que les décideurs politiques, les structures de gestion traditionnelle et les populations riveraines s'approprient davantage les forêts. L'approche par les communautés et les comités organisés ne reflètent pas les bonnes pratiques locales. Le ministère en charge de l'environnement pourrait s'en inspirer.

Les enquêtes dans les villages riverains ont été conduits par des agents forestiers. Il faut dire que malgré les approches participatives adoptées, les populations continuent de les craindre. C'est pourquoi, il est loisible de penser que les réponses aux questions posées peuvent avoir subi des déformations ou que les questionnés donnent des réponses allant dans le sens voulu par l'enquêteur. C'est pourquoi il est utile de signaler que les proportions des populations demandant une plus grande implication dans la gestion des forêts classées ont été sous-évaluées.

Cette gestion centralisée n'a pas donné de meilleurs résultats. Il faut que l'Etat reconnaisse plus de droits des populations locales sur les forêts classées, en leur permettant d'initier une autonomisation de la gestion. Il reste bien entendu que celles-ci n'en ont ni les moyens techniques et financiers. Une recherche-développement, sur la base de contraintes vécues dans la gestion des forêts classées, pourrait donner les meilleures pratiques et techniques vers une autonomisation qui seule pourrait permettre à ces populations de bénéficier véritablement des forêts classées, dans la lutte contre la pauvreté entre autres.

RÉFÉRENCES

- [1] Bonkounou, Joachim. 2018. "Rendre Aux Forêts Leur Rôle Régulateur En Impliquant Les Acteurs Locaux Dans Leur Gestion." *AFDB*, 5. Retrieved (<https://www.afdb.org/fr/blogs/a-race-against-time/post/climat-rendre-aux-forets-leur-role-regulateur-en-impliquant-les-acteurs-locaux-dans-leur-gestion-18850/>).
- [2] Bonkounou, Joachim and P. Grégoire Sama. 2017. "Etude Diagnostique et Établissement de La Situation de Référence Dans La Zone d'intervention Du Projet." 59.
- [3] Burkina Faso. 2011. *Programme d'Investissement Forestier*. Ouagadougou, Burkina Faso: MEDD.
- [4] Diallo, A. M. 2008. "Intégration Des Connaissances, Pratiques et Espèces Indigènes Dans La Lutte Contre Les Invasions Biologiques et l'amélioration de La Ressource En Eau et de Sa Qualité : Cas Du Bassin Versant Du Barrage de Tinkisso et de Sa Forêt Humide Sincéry-Ourssa à Da." Université du Québec à Montréal, Canada.
- [5] GIEC. 2007. *Bilan 2007 Des Changements Climatiques. Contribution Des Groupes de Travail I, II et III Du Quatrième Rapport d'évaluation Du GIEC*. Genève, Suisse.
- [6] Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC). 2014. *Changements Climatiques 2014 Incidences, Adaptation et Vulnérabilité. Résumé à l'intention Des Décideurs*.

- [7] Kambire, H. et al. 2015. *La REDD+ et L adaptation Aux Changements Climatiques Au Burkina Faso: Causes, Agents et Institutions*. CIFOR.
- [8] Ky, Abraham. 2010. "Décentralisation Au Burkina Faso : Une Approche En Économie Institutionnelle." Université de Fribourg, Suisse.
- [9] MECV. 2007. *Situation Des Forêts Classées Du Burkina Faso et Plan de Rehabilitation*. Ouagadougou.
- [10] République Démocratique du Congo (RDC). 2015. *Plan d'investissement REDD+ 2015-2020*.
- [11] Westholm, L. and S. Kokko. 2011. *Local Forest Management and Climate Change Mitigation in Burkina Faso*. Retrieved (<http://www.focali.se/en/articles/artikelarkiv/prospects-for-redd-local-forest-management-and-climate-change-mitigation-in-burkina-faso>).
- [12] Westholm, Lisa and Seema Arora-Jonsson. 2015. "Defining Solutions, Finding Problems: Deforestation, Gender, and REDD+ in Burkina Faso." *Conservation and Society* 13(2):189.
Retrieved (<http://www.conservationandsociety.org/text.asp?2015/13/2/189/164203>).
- [13] Yelkouni, M. 2001. *Décentralisation et Dynamique Des Institutions Dans La Gestion Des Ressources Naturelles En Afrique de l'Ouest Cas Des Réserves de Biosphère*.

Analyse des pratiques agricoles d'adaptation aux aléas climatiques en production de maïs au Nord Est-Benin

[Analysis of agricultural adaptation practices to climatic hazards in maize production in Northern-Benin]

Alidou BAH SABI SERO GBASSI and Afouda Jacob YABI

Laboratoire d'Analyse et de Recherches sur les Dynamiques Economiques et Sociales (LARDES), Faculté d'Agronomie/Université de Parakou, BP 123, Benin

Copyright © 2019 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: Climatic hazards, known as anthropic issues, are permanent threat to agriculture. Thus, beside the observed new climatic conditions, several agricultural practices are being developed. This study is led in order to characterize and understand better the determinants of such the agricultural practices. Data collected from 280 maize cultivators in Northern Benin have been used to do a Multiple Correspondence Analysis (MCA) and logit models were specified. The results revealed that the perception of both the emergence of new grass species, insect pests, late starting of rains and rising temperatures influences positively the producers who, for adaptation, increase the dose of chemicals and opt for extending agriculture and adopt new varieties of seed. But, it influences negatively adopters of agroforestry and adopters of none chemical agricultural practices. Concerning the perception of the early arrival of rains, it influences positively the adoption of agricultural practices, which are likely to increase the ecological vulnerability of the producer in face of climatic hazards. Furthermore, the experience of the producer and the Access to extension service, increase the chance of adoption of ecologically unsustainable agricultural practices.

KEYWORDS: Utility, Maize, ecological vulnerability, Climatic hazards, Northern Benin.

JEL: I 31; O13; Q16; Q54

RÉSUMÉ: Les aléas climatiques, dont les causes anthropiques sont révélées évidentes, constituent une menace permanente pour l'agriculture. Ainsi, parallèlement aux nouvelles conditions climatiques perçues, une multitude de pratiques agricoles se développent. C'est pour caractériser et mieux comprendre les facteurs déterminants de ces pratiques que cette étude est réalisée. Après la collecte de données auprès de 280 producteurs de maïs au Nord-Est Bénin, une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) a été réalisée et des modèles logit ont été spécifiés. Les résultats ont révélé que la perception à la fois de l'apparition de nouvelles espèces d'herbes, des insectes ravageurs, du démarrage tardif des pluies et la hausse de la température influence positivement les producteurs qui, pour s'y adapter, augmentent la dose des produits chimiques et optent pour l'extensification agricole. Par contre, elle influence négativement les adoptants de l'agroforesterie et les gestionnaires des sols. Quant à la perception de l'arrivée précoce des pluies, elle influence positivement l'adoption des pratiques agricoles qui sont susceptibles d'augmenter la vulnérabilité écologique du producteur face aux aléas climatiques. Par ailleurs, l'expérience du producteur et le contact avec les vulgarisateurs, augmentent la probabilité d'adoption des pratiques agricoles écologiquement non durable.

MOTS-CLEFS: Utilité, Maïs, vulnérabilité écologique, Aléas climatiques, Nord-Est Bénin.

1 INTRODUCTION

Les années récentes ont été marquées par les aléas climatiques avec des effets variables selon que l'on soit dans le milieu rural ou urbain. Ces aléas se caractérisent par l'apparition des phénomènes comme la sécheresse, les pluies tardives et violentes, l'apparition des ouragans et des inondations [1]. Au Bénin, la sécheresse, les pluies tardives et violentes et les inondations sont trois risques climatiques majeurs constatés par la population [2]. Les incidences de cette variabilité climatique sur les systèmes naturels et humains, tant économiques que sociales, ne sont plus à discuter.

Dans beaucoup de régions, les changements qui touchent les précipitations, perturbent le système hydrologique et influent sur la qualité et la quantité des ressources hydriques [3]. Les effets de ces aléas climatiques sur l'agriculture, couplés avec la faible résilience et la grande vulnérabilité des populations aux chocs, pourraient réduire considérablement leur capacité de gestion des ressources naturelles et altérer ainsi leurs moyens d'existence, leur sécurité alimentaire et leur bien-être [2]. L'évaluation des résultats de nombreuses études portant sur un large éventail de régions, fait apparaître davantage d'incidences négatives que d'incidences positives des aléas climatiques. Certaines études ont montré que les aléas climatiques exacerbent les tensions existantes et déclenchent de nouveaux conflits en redessinant les cartes de la disponibilité en eau, de la sécurité alimentaire, de la prévalence des maladies, des limites côtières et de la répartition de la population [4]. Le Bénin, un pays en développement de l'Afrique de l'Ouest subit déjà les effets négatifs des aléas climatiques [5] à cause de sa forte dépendance à l'agriculture pluviale.

La perception de ces aléas climatiques par les populations est révélée évidente [6], même si elle peut varier en fonction des caractéristiques socio-économiques et culturelles de ces derniers. De plus, les spécialistes sur la question climatique qui perçoivent mieux l'ampleur des manifestations climatiques à cause de leurs avantages technico-scientifiques, n'ont pas hésité de mettre à la face du monde les preuves sur la nouvelle tendance des paramètres climatiques et de signaler l'urgence pour l'adoption des stratégies d'adaptation / d'atténuation [3]. Ainsi, la communauté scientifique, les Etats et les agriculteurs ont conjugué leurs efforts pour développer et mettre en œuvre diverses stratégies complémentaires [7].

Mais nous constatons dans ce contexte d'aléas climatiques, avec toutes ces conséquences environnementales, socio-économiques et humaines, les agriculteurs font des choix délibérés de stratégies agricoles malgré les stratégies d'adaptation complémentaires qui leur ont été proposées pour endiguer les difficultés climatiques. En effet, certaines stratégies agricoles, telles que pratiquées par les populations des localités du Nord Bénin, ne s'observaient pas dans le passé. Par exemple, pour s'adapter ils choisissent le passage de l'agriculture intensive à celle extensive qui favorise la déforestation ; le recours intensif des produits chimiques (l'engrais minéral et les pesticides) ; l'adoption de nouvelles variétés de semences (la variété à cycle court ou plus résistante) et la délocalisation des aires culturales vers les bas-fonds. Il en ressort que l'économie rurale a changé de forme, de méthodes et d'éléments.

Les nombreux travaux réalisés sur la thématique de la stratégie d'adaptation face aux aléas climatiques, l'on abordé dans le sens d'inventorier les stratégies d'adopter et d'identifier les facteurs déterminants de chaque stratégie adoptée. De plus, ces travaux ont eu à conclure que les producteurs développent des stratégies s'inscrivant dans une logique d'adaptation aux aléas climatiques [8], [9], [10], [11], [12]. Cependant, lorsque l'adaptation englobe les initiatives et les mesures prises pour réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains aux effets des aléas climatiques réels ou prévus [3], l'objectif de l'adoption de certaines stratégies adoptées face aux aléas climatiques, paraît utopique.

Cette étude à la différence de ces travaux antérieurs, aborde les stratégies adoptées face aux aléas climatiques en relation avec la durabilité environnementale. Car, certaines études ont montré que l'agriculteur bien qu'il soit sous la menace des aléas climatiques, sa préoccupation n'est pas le climat [13], [14], pour que l'on pense qu'ils s'y adaptent.

Pour donner un sens aux comportements des agriculteurs dans un contexte d'aléas climatiques, cette étude s'est fondée sur la théorie de l'action raisonnée de [15] et la théorie de rationalité du producteur de [16]. La première théorie, stipule que face à une situation, il existe des stimuli qui influencent les attitudes modifiant ainsi la structure des croyances de l'individu. De plus, bien qu'étant sous l'influence des forces externes, pour opérer un choix, l'agent économique rationnel opte pour l'option qui maximise son utilité [16]. Sachant bien qu'elle est généralement économique, la rationalité peut être écologique ou socioculturelle [17]. Ainsi, face à un problème de choix de stratégie d'adaptation, le producteur a la possibilité d'opter soit à la pure maximisation de son profit ou à la maximisation de son utilité.

Suivant cette logique, le producteur développerait-il face aux aléas climatiques, des pratiques qui s'opposeraient à cette fameuse théorie ? Autrement dit, face aux aléas climatiques les pratiques agricoles actuelles sont-elles écologiquement durables ?

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La recherche a été conduite dans la région Nord-Est du Bénin. Les caractéristiques agroécologiques de cette zone la rendent très vulnérable aux effets néfastes des aléas climatiques. Selon le rapport officiel du [5], le Nord-Est du Bénin est plus affecté par les aléas climatiques que le Sud. En effet, les projections prévoient que les précipitations resteront plus ou moins stables dans la partie Sud du Pays alors qu'elles diminueront d'environ 13 à 15% dans la partie Nord d'ici 2100. Les températures quant à elles augmenteront de manière générale entre +2,6°C et +3,2°C d'ici 2100 sur l'ensemble du territoire. En dépit de ces projections, le Nord du Bénin qui représente environ 73% du territoire nationale et répartie en 4 zones agroécologiques est le grenier du Bénin. Ces caractéristiques justifient son choix comme zone de recherche.

Quatre communes ont été sélectionnées en tenant compte de leur situation géographique de manière à couvrir toute la région de même que les zones agroécologiques y existantes, de l'acuité du problème liés aux aléas climatiques, de l'importance dans la production agricole de la zone, de la représentativité des groupes socio-culturels et de l'accessibilité pendant la période de l'étude, notamment pendant les travaux de terrain. En suivant ces critères les communes de Malanville (Zone agro-écologique I), Banikoara (Zone agro-écologique II-Ouest), Kandi (Zone agro-écologique II-Est) et Bembéréké (Zone agro-écologique III) ont été sélectionnées dans le Nord-Est du Bénin.

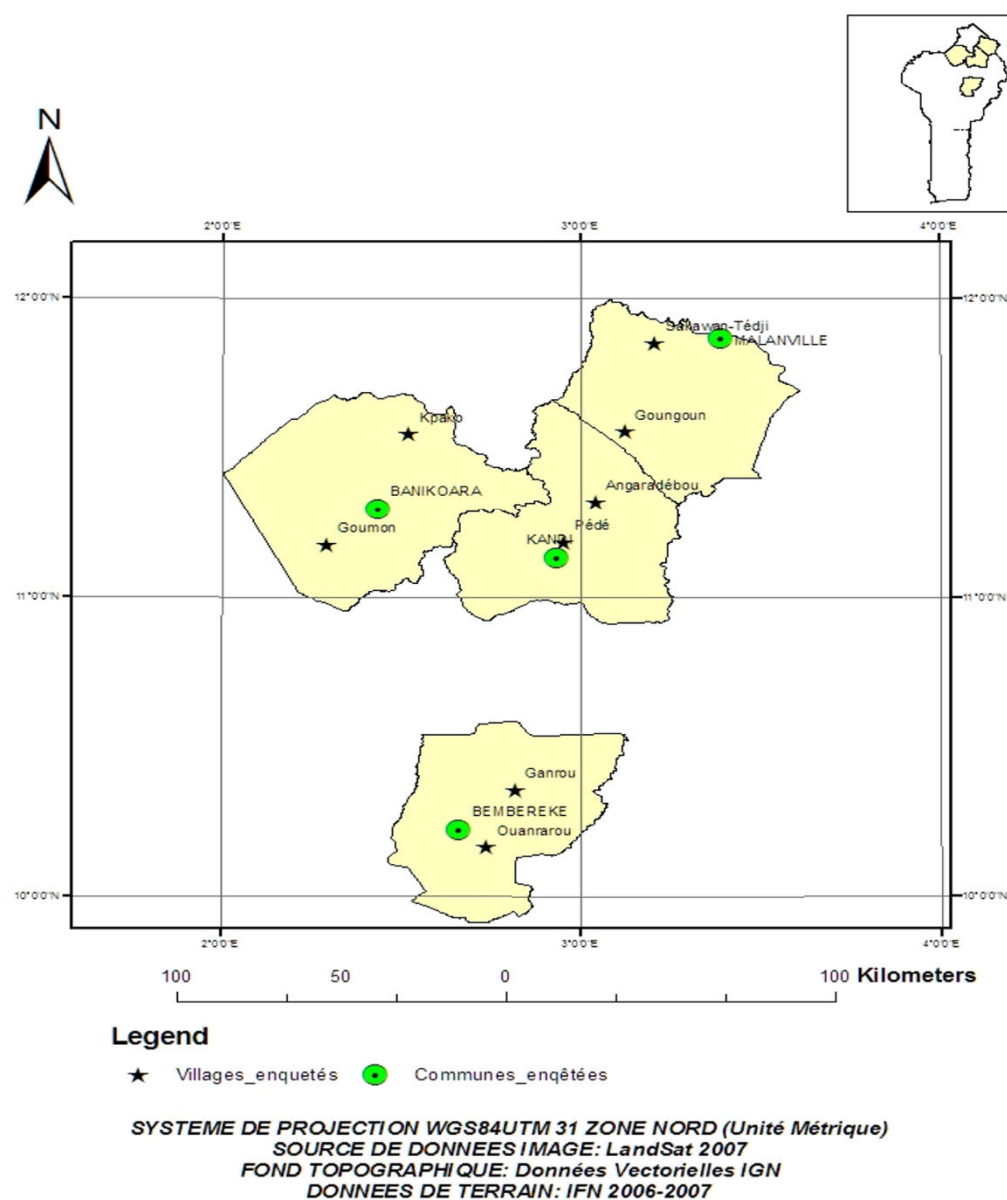


Fig. 1. Carte de la zone d'étude

2.2 SÉLECTION DES VILLAGES ET ÉCHANTILLONNAGE DES UNITÉS DE RECHERCHE

Dans chaque commune, deux villages représentatifs ont été sélectionnés en suivant les mêmes critères utilisés pour choisir les communes.

De manière générale, les unités de recherche sont les producteurs de la zone d'étude en générale. Pour simplifier la conduite des travaux de terrain et l'analyse des résultats, seuls les producteurs qui produisent à la fois, le Maïs et le Coton au moins, ont été pris en compte. En réalité, le maïs fait partie de l'une des principales cultures au Nord-Est du Bénin en termes de superficies emblavées et le temps consacré à la production agricole. Par village sélectionné, un échantillon de 35 producteurs a été constitué de manière aléatoire et simple. Ce faisant, l'étude a été menée auprès d'un échantillon de 280 producteurs dans l'ensemble de la zone d'étude.

Les données collectées sont de types primaires. Elles concernent les caractéristiques sociodémographiques des producteurs (Sexe, âge, exercice d'activité secondaire, niveau d'instruction, accès au crédit, expérience en agriculture, contact avec la vulgarisation, nombre d'actifs agricoles par ménage et appartenance à une organisation) et la perception et les stratégies d'adaptation des producteurs ; les inputs et outputs impliqués dans le processus de production. La principale méthode de collecte de ces données primaires sont les enquêtes par des interviews structurées et semi-structurées auprès des producteurs échantillonnés. A cet effet, des questionnaires d'enquêtes ont été élaborés et administrés.

2.3 ANALYSE DES CORRESPONDANCES MULTIPLES (ACM) DES PRATIQUES AGRICOLES D'ADAPTATION DES PRODUCTEURS DE MAÏS

Pour faire la typologie des producteurs selon les stratégies agricoles adoptées, une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) a été effectuée à cause du nombre important et la nature qualitative des variables.

L'analyse a été effectuée sous le logiciel R et a permis de distinguer des groupes homogènes de producteurs en fonction des stratégies agricoles. Le tableau1, présente les variables d'intérêt de l'étude.

Tableau 1. Présentation des variables d'analyse et leurs modalités

Types de variables	Noms des Variables	Modalités	Signification
Pratiques agricoles adoptées	Nouvelles variétés de semences	PVM+ PVS-	PVM+ (a adopté les nouvelles variétés de semences) PVM- (n'a pas adopté les nouvelles variétés de semences)
	Rotation culturale	PRC+ PRC-	PRM+ (a adopté les techniques de rotation culturale) PRM- (n'a pas adopté les techniques de rotation culturale)
	Le double semis	PDS+ PDS-	PDC+ (avoir faire le double semis) PDC- (n'a pas fait le double semis)
	Augmentation de la dose d'engrais	PAE+ PAE-	PAE+ (a augmenté la dose d'engrais) PAE- (n'a pas augmenté la dose d'engrais)
	Diminution de la dose d'engrais	PDE+ PDE-	PDE+ (a diminué la dose d'engrais) PDE- (n'a pas diminué la dose)
	Augmentation de la dose de pesticide	PAP+ PAP-	PAP+ (a augmenté la dose de pesticide) PAP- (n'a pas augmenté la dose de pesticide)
	Diminution de la dose de pesticide	PDP+ PDP-	PDP+ (a diminué la dose de pesticide) PDP- (n'a pas diminué la dose de pesticide)
	Conservation du sol	PCS+ PCS-	PCS+ (a adopté les pratiques de conservation du sol) PCS- (n'a adopté les pratiques de conservation du sol)
	Agroforesterie	PAF+ PAF-	PAF+ (fait de l'agroforesterie) PAF- (ne fait pas de l'agroforesterie)
	Changement de localisation de parcelle et extensification	PCL+ PCL-	PCL+ (change de localisation de parcelles culturales) PCL- (ne change pas de localisation de parcelle culturales)

Source : données d'enquêtes des auteurs, 2018

2.4 SPÉCIFICATION DU MODÈLE D'ANALYSE DES DÉTERMINANTS DES PRATIQUES AGRICOLES ADOPTÉES

A la lumière du cadre théorique et empirique sur les facteurs déterminants de l'adoption des pratiques agricoles d'adaptation, il a été établi un modèle analytique d'adoption en fonction des caractéristiques socio-économiques des

producteurs et de leurs perceptions des aléas climatiques [18] et [19]. Dans le cadre de cette étude, la méthode des valeurs instrumentales est utilisée pour ressortir le lien entre le facteur climatique perçu par le producteur et sa stratégie adoptée pour y faire face. Autrement dit, ce sont les probabilités prédites issues des modèles de perception qui seront prises en comptes dans le modèle d'adoption pour corriger les biais d'endogénéités. Ainsi, le modèle se présente comme suit :

$$ADPA_{ij} = f(Z_{ik}, P_{ip}) \quad (1)$$

La forme ainsi définie est basée sur deux sous-modèles : modèle d'adoption dont la variable dépendante est l'adoption d'un groupe "j" de pratiques agricoles (ADPA) et le modèle de perception dont la variable dépendante est la perception d'un groupe "p" d'aléas climatiques (P_{ip}) par le producteur. La forme linéaire du modèle se présente:

$$ADPA_{ij} = \alpha_0 + \sum \alpha_k Z_{ik} + \sum \delta_p P_{ip} + v_i \quad (2)$$

Dans l'équation (2), $ADPA_{ij}$ est la décision d'adoption d'un groupe 'j' de pratiques agricoles d'adaptation (1 = s'adopte; 0 = ne s'adopte pas) du producteur i . Z_{ik} sont les "k" caractéristiques démographiques et socio-économiques liées au producteur "i" capables d'influencer sa décision d'adoption. Notons que P_{ip} , représente la probabilité prédite de perception d'un groupe "p" d'aléas climatiques par le producteur "i" et v_i le terme d'erreur suivant conjointement une distribution normale.

En appliquant au modèle de base, la formule mathématique logit (P_{ij}) qui représente la probabilité pour que le producteur "i" appartienne au groupe de producteurs "j" qui perçoivent les aléas climatiques et adoptent les mêmes pratiques agricoles d'adaptations, on obtient :

$$P_{ij} = E(ADPA_{ij}) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha_0 + \sum \alpha_k Z_{ik} + \sum \delta_p P_{ip} + v_i)}} \quad (3)$$

Avec "e" est le symbole de l'exponentiel, α_0 la constante et les α_k et δ_p sont des coefficients à estimer, associés respectivement aux variables caractéristiques du producteur "i" et la probabilité prédite de la perception d'un groupe d'aléas climatiques qui influencent la probabilité appartenir au groupe "j" de producteurs adoptant les mêmes pratiques d'adaptation. Les estimations ont été faites à l'aide du logiciel STATA. La méthode d'estimation avec robustesse a été utilisée pour corriger les éventuelles hétéroscédasticités.

3 RESULTATS

3.1 CARACTÉRISATION DES PRATIQUES AGRICOLES ADOPTÉES DANS LA PRODUCTION DE MAÏS

Dans le but de faire une typologie des producteurs en fonction des stratégies agricoles adoptées en production de maïs, une analyse des correspondances multiples (ACM) a été réalisée. Les résultats de cette analyse, validée à partir de la contribution cumulée à l'inertie totale des axes factoriels qui est supérieure à cinquante-un pourcent (51%), pour les deux premiers axes (voir tableau 2), ont permis de distinguer quarts groupes homogènes de producteurs selon leurs stratégies agricoles.

Tableau 2. Contribution cumulée à l'inertie totale des axes factoriels de la typologie des producteurs selon les pratiques agricoles adoptées

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6	Dim.7	Dim.8	Dim.9	Dim.10
Variance	0.379	0.134	0.109	0.096	0.076	0.068	0.041	0.038	0.032	0.027
% of var	37.864	13.408	10.932	9.564	7.645	6.773	4.123	3.781	3.204	2.707
Cumul % of var	37.864	51.272	62.204	71.768	79.413	86.186	90.308	94.089	97.293	100.000

Source : Résultats des auteurs, 2018

Dim= Dimension

3.2 RÉPARTITION DES PRODUCTEURS DE MAÏS EN DE GROUPES HOMOGÈNES EN FONCTION DES PRATIQUES AGRICOLES ADOPTÉES

La figure é montre la représentation graphique du regroupement des individus sur les deux premières dimensions en fonction des pratiques agricoles d'adaptation adoptées. Le premier groupe de producteurs est qualifié de moderniste car, c'est un groupe de producteurs qui se distingue par l'augmentation à la fois de la dose de pesticides et d'engrais (PAE^+ , PAP^+), la pratique du double semis(PDS^+), l'extension et le changement de la localisation des parcelles culturales(PCL^+) , la pratique de la rotation culturale(PRM^+) et l'adoption des pratiques de conservation du sol(PCS^+). Les producteurs du groupe 2, sont des

pratiquants d'agroforesterie (**PAF+**) tout en restant constants avec la dose d'engrais (**PDE-**) et de pesticides utilisée (**PDP-**). En ce qui concerne les producteurs du groupe 3, ils se démarquent par l'adoption de nouvelles variétés de semences (**PVM+**) et la diminution de la dose d'engrais (**PDP+**) et des pesticides de synthèses utilisées (**PDE+**). Enfin, les producteurs du groupe 4, sont considérés de traditionnels car, ils s'adaptent par la gestion des sols. Ils sont ceux qui n'augmentent ni la dose d'engrais (**PAE-**) ni la dose de pesticide (**PAP-**), qui n'adoptent pas les pratiques de conservation du sol (**PCS-**), ne font pas le double semis (**PDS-**) et ne font pas la rotation culturale (**PRM-**).

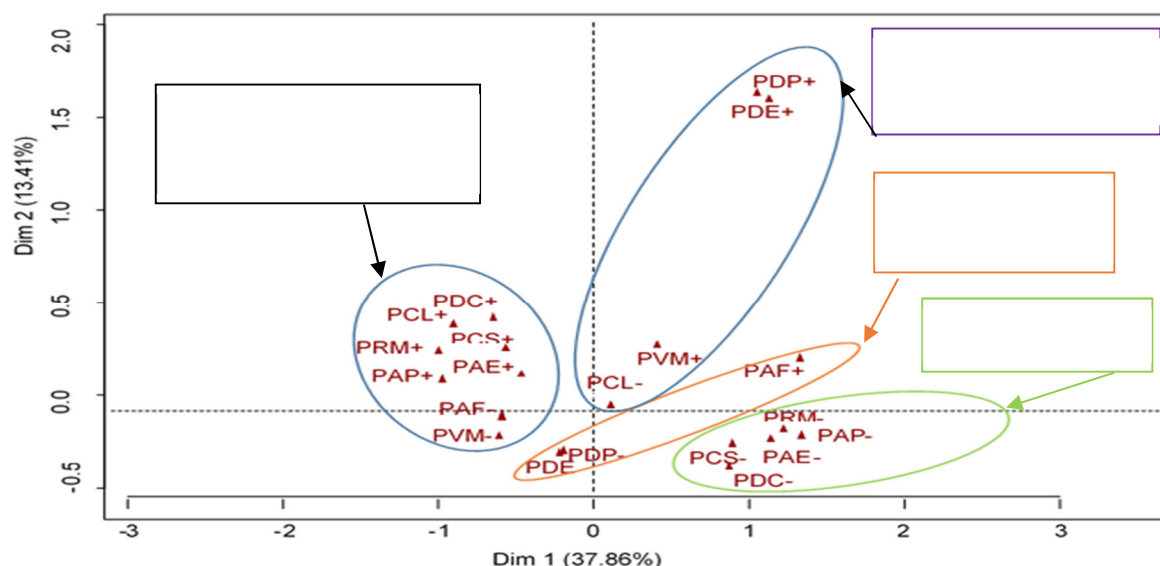


Fig. 2. Représentation graphique des regroupements des producteurs en fonction des pratiques agricoles adoptées sur les deux premières dimensions

Source : Résultats des auteurs, 2018

3.3 ANALYSE DES AXES D'INTERVENTIONS DES PRATIQUES AGRICOLES ADOPTÉES EN RELATION AVEC LA PERCEPTION DES ALÉAS CLIMATIQUES

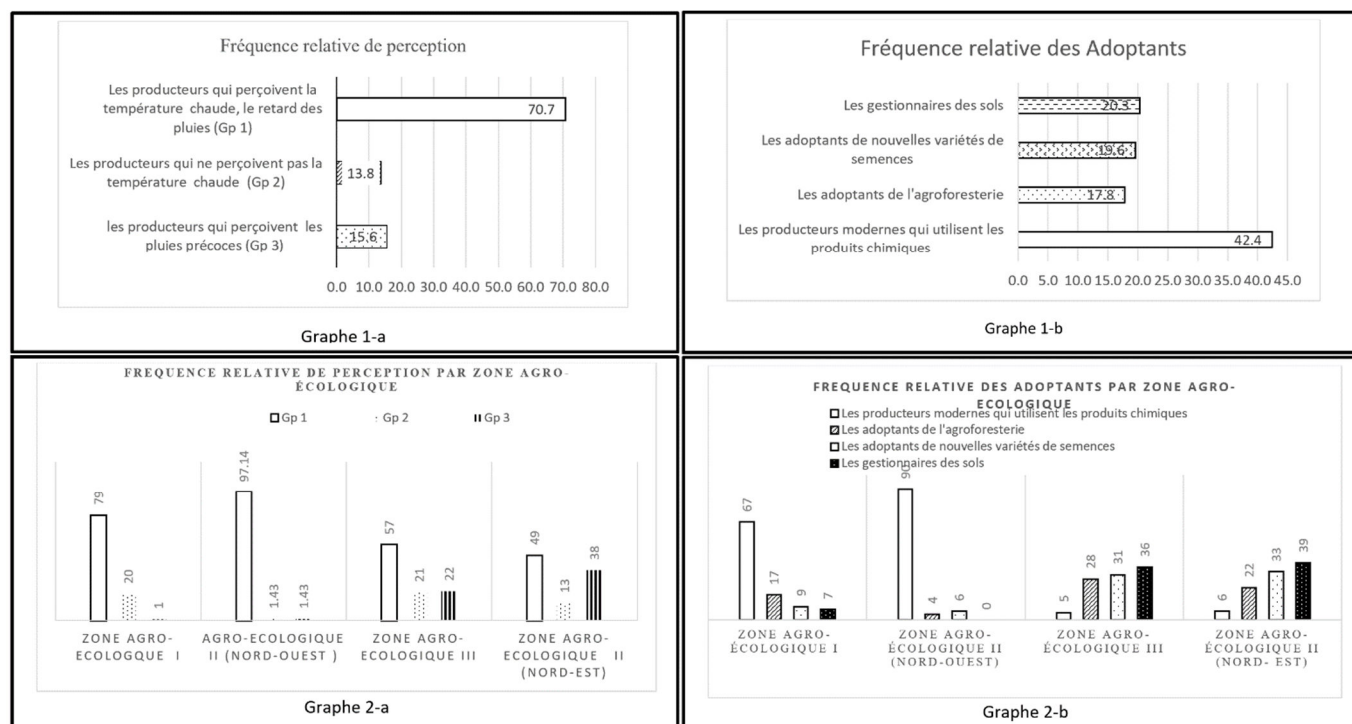
Le **graphe (1-a)** présente trois groupes de producteurs en fonction de leur perception des aléas climatiques. Le premier groupe de producteurs est le groupe de ceux qui ont perçu à la fois les facteurs tels que : l'arrivée tardive des pluies, la température plus chaude, l'augmentation de la population des ravageurs, l'augmentation et l'apparition de mauvaises espèces d'herbes et l'augmentation des maladies des cultures. Il représente 70,7 % des répondants. Le deuxième groupe de producteurs qui rassemble ceux qui ne perçoivent pas l'élévation de la température, représente 13,8% des répondants. Et enfin, les producteurs du troisième groupe qui représentent 15,6 % des répondants, perçoivent l'arrivée précoce des pluies.

La répartition par zone agro-écologique des producteurs en fonction de leur perception (**Grappe 2-a**), a permis de constater, bien que les producteurs des quatre zones agro-écologiques aient perçu les facteurs climatiques qui caractérisent le premier groupe de producteurs, la fréquence relative de perception est plus élevée dans les zones agro-écologiques II (Nord-ouest) et I que dans les deux autres. Par contre, concernant la perception de l'arrivée précoce des pluies, elle est plus perçue par les producteurs des zones agro-écologiques II (Nord-est) et III, que ceux des zones agro-écologiques II (Nord-ouest) et I.

Dans ce contexte d'aléas climatiques, ces producteurs ont adopté diverses stratégies agricoles. L'analyse des Correspondance Multiples (ACM) a permis de distinguer quatre groupes de producteurs en fonction des stratégies adoptées à savoir : les producteurs modernes qui utilisent les produits chimiques, les adoptants d'agroforesterie, les adoptants de nouvelles variétés de semences et les gestionnaires des sols. Le calcul des fréquences relatives d'adoption (**Graphes 1-b et 2-b**), a permis de constater, pendant que les producteurs qui font recours aux produits chimiques représentent près de la moitié des répondants soit 42,4%, les adoptants d'agroforesterie, les adoptants de nouvelles variétés de semences et les gestionnaires des sols, représentent respectivement 20,3%, 19,6% et 17, 8% des répondants.

En se basant sur le concept d'adaptation aux aléas climatiques et les axes d'interventions du Club-Conseil en Agroenvironnement (20), le rapprochement des perceptions des producteurs aux stratégies d'adaptation adoptées nous laisse perplexe. En effet, les producteurs majoritairement (70,7%) ont perçu à la fois l'arrivée tardive des pluies, la température plus

chaude, l'augmentation de la population des ravageurs, l'augmentation et l'apparition de mauvaises espèces d'herbes et l'augmentation des maladies des cultures et pour s'y adapter, ils adoptent majoritairement (42,4%) des stratégies agricoles écologiquement non durables (l'augmentation de la dose des produits chimiques, l'extensification agricole....) au détriment des stratégies d'adaptation durables susceptibles de réduire leur vulnérabilité environnementale présente et future face aux aléas climatiques.



Source : Résultats des auteurs, 2018

NB : Pour chaque groupe d'adoptants, la fréquence relative représente le pourcentage des producteurs qui ont perçu un groupe d'aléas climatiques et qui ont adopté une pratique agricole.

3.4 ANALYSE ÉCONOMÉTRIQUE DES DÉTERMINANTS D'ADOPTION DES PRATIQUES AGRICOLES D'ADAPTATION EN PRODUCTION DE MAÏS

Les résultats d'estimations des modèles sont consignés dans le **Tableau 3**. Les quatre modèles ont été globalement significatifs au seuil de 1%. De l'analyse des résultats on constate que les variables explicatives introduites dans les modèles, expliquent la variabilité d'appartenance au groupe d'adoptants d'une pratique agricole jusqu'à 53,64 %, 19,99 %, 13,04 % et 23,99 % respectivement pour les groupes de producteurs de 1 à 4.

Il ressort de l'estimation que l'appartenance à la zone agro-écologique 2 (Nord-Ouest) et aux zones agro-écologiques 1 et 3, est positivement et significativement corrélée avec l'adoption de la stratégie d'adaptation qui caractérise les modernistes (**Groupe 1**) au seuil de 5%. En effet, les producteurs de ces trois zones ont plus de chance contrairement à ceux de la agro-écologique 2 Nord-Est, d'appartenir au groupe des modernistes qui pour s'adapter aux aléas climatiques adoptent la stratégie qui consiste à augmenter à la fois la dose d'engrais et la dose des pesticides de synthèse (**PAE***, **PAP***), l'extensification agricole avec un changement de localisation des parcelles culturales (**PCL***), la rotation culturale (**PRC***), les pratiques de conservation du sol (**PCS***) et la pratique du double semis (**PDS***). En effet, lorsque la probabilité d'appartenir à ces trois communes augmente de 100%, la chance d'adopter la stratégie moderne augmente de 63%, 56%, 11% respectivement dans les zones **agro-écologiques II (Nord-Ouest), I et III**. Par contre, on note une corrélation négative et significative entre les appartenances à ces trois zones **agro-écologiques** avec l'adoption de nouvelles variétés de semences qui caractérise le groupe de producteur 3. Pour ce cas, lorsque la probabilité d'appartenir à la zone **agro-écologique II Nord-Est et agro-écologique I** augmente de 100%, la chance qu'un producteur de ces zones adopte les nouvelles variétés de semences baisse respectivement de 32% et 21%. Par ailleurs, la faible adoption de l'agroforesterie et de l'adoption des stratégies de gestion des sols sans produits chimiques pour s'adapter aux aléas climatiques par les producteurs des **agro-écologiques II Nord-ouest et I**, explique l'inexistence de relation à établir entre ces deux variables.

LE CONTACT AVEC LA VULGARISATION

Le contact avec le service de vulgarisation public est positivement et significativement corrélé avec l'adoption de la stratégie moderne au seuil de 5%. En effet, lorsque la probabilité d'être en contact avec un vulgarisateur public augmente de 100%, la probabilité pour le producteur de faire partir des adoptants des pratiques modernes augmente de 16% et celle d'appartenir au groupe des gestionnaires des sols diminue de 9%. Ce résultat s'explique par la volonté pressante des dirigeants de faire multiplier la production des cultures de rente grâce à l'utilisation des produits chimiques au détriment de l'adoption des pratiques écologiquement durables. Ce penchant positif vers les cultures de rente, occasionne l'inondation des marchés des produits chimiques facilitant ainsi leur accès et leur utilisation. Par ailleurs, bien que la relation soit non significative, le contact avec le service de vulgarisation public est positivement corrélé avec l'adoption de nouvelles semences de maïs. Ce résultat traduit que le contact du producteur avec un agent d'encadrement agricole facilite l'accès d'informations sur les nouvelles variétés de semences les plus résistantes et productives.

L'EXPÉRIENCE EN AGRICULTURE

Pendant que l'expérience du producteur est positivement corrélée avec l'adoption des stratégies modernes, elle est négativement corrélée avec l'adoption de l'agroforesterie, qui est une pratique écologiquement durable. En effet, lorsque la probabilité d'être plus expérimenté augmente de 100%, la chance d'adopter les pratiques modernes augmente de 0,2% et celle d'adopter l'agroforesterie diminue de 0,2%. Par ailleurs, on note une corrélation positive entre l'expérience du chef de ménage et l'appartenance au groupe des gestionnaires des sols. L'influence positive de l'expérience du chef de ménage sur l'adoption des pratiques modernes (écologiquement non durable) s'explique par des contraintes de production¹, susceptible d'empêcher le producteur malgré son expérience de choisir les pratiques agricoles durables pour s'adapter aux aléas climatiques.

LE NIVEAU D'ÉDUCATION

Pendant que la corrélation du niveau d'éducation du producteur avec l'adoption des pratiques modernes est négative et non significative, ses corrélations avec l'adoption de l'agroforesterie et de l'adoption des stratégies de gestion des sols sans produits chimiques, sont positives et significatives. En effet, lorsque la probabilité d'avoir un niveau d'éducation élevé augmente de 100%, la chance d'adopter des stratégies écologiquement durables augmente de 12% et 11% respectivement pour l'agroforesterie et pour les stratégies de gestion des sols sans produits chimiques. Ce résultat s'explique par l'avantage qu'ont les producteurs les plus instruits à mieux cerner les enjeux de l'action de l'homme sur son environnement, largement développés par les travaux scientifiques, qui prônent l'adoption des pratiques agricoles écologiquement durables au détriment de celles non durables.

LA TAILLE DU MÉNAGE

Les résultats ont montré une corrélation négative mais non significative de la taille du ménage et l'adoption des pratiques modernes. Le sens de cette corrélation bien qu'étant non significative, s'explique par le fait que la faible disponibilité de la main d'œuvre et le choix de produire plus, poussent les producteurs à recourir aux produits chimiques. Par contre, plus la taille du ménage est élevée, plus le chef de ménage dispose d'une main d'œuvre suffisante, qui facilite l'entretien des champs sans recours aux produits chimiques, tout en adoptant de nouvelles variétés de semences les plus résistantes et plus rentables. Ce qui permet au chef de ménage d'assurer l'alimentation de sa famille et adopter l'agroforesterie pour s'adapter aux aléas climatiques. Par ailleurs, la taille du ménage est négativement et de façon non significative corrélée avec l'adoption des stratégies de gestion des sols sans produits chimiques. Le sens négatif de cette relation s'explique par le fait que l'adoption de certaines stratégies de gestion des sols face aux aléas climatiques n'assure pas au chef de ménage le nécessaire pour nourrir sa grande famille. Ce résultat souligne l'importance d'accompagner les gestionnaires des sols avec des technologies écologiquement durables et plus productives.

¹ Il s'agit des contraintes foncières et de rentabilités

LA SUPERFICIE EMBLAVÉE

Les superficies emblavées en production de maïs et de coton sont positivement et de façon non significative corrélées avec l'adoption des pratiques modernes. Par ailleurs, la superficie en maïs et l'adoption de nouvelles variétés de semences sont positivement et significativement corrélées au seuil de 10%. Le sens positif de la corrélation entre la superficie emblavée des deux spéculations et l'adoption des pratiques modernes et l'adoption de nouvelles variétés de semences, s'explique par la logique de maximisation de profit du producteur car, les superficies emblavées de maïs et de coton sont négativement mais non significativement corrélées avec l'adoption des pratiques écologiquement durables.

LA PERCEPTION DES ALÉAS CLIMATIQUES

Il ressort des résultats de l'estimation que la probabilité prédite de la perception à la fois de l'apparition de nouvelles espèces d'herbes, des insectes ravageurs, le démarrage tardif des pluies et la hausse de la température, influence positivement les producteurs qui, pour s'y adapter augmentent la dose des produits chimiques et optent pour l'extensification agricole (Groupe 1) et adoptent les nouvelles variétés de semences (Groupe 3). Par contre, elle influence négativement les adoptants de l'agroforesterie (Groupe 2) et les gestionnaires des sols (Groupe 4). En effet, lorsque la probabilité de percevoir à la fois l'apparition de nouvelles espèces d'herbes, des insectes ravageurs, le démarrage tardif des pluies et la hausse de la température, augmente de 100%, la probabilité d'adopter des pratiques modernes (écologiquement non durables) augmente de 33 % et les probabilités d'adopter les pratiques agricoles durables diminuent respectivement de 61% et 52%, pour les adoptants de l'agroforesterie et les gestionnaires des sols.

Quant à la probabilité prédite de la perception de l'arrivée précoce des pluies, elle est positivement et significativement corrélée avec l'adoption des pratiques modernes (Groupe1), qui sont susceptibles d'augmenter la vulnérabilité écologique du producteur face aux aléas climatiques. De même, elle est positivement corrélée avec l'adoption de la stratégie de gestion des sols sans produits chimiques, mais de façon non significative. De ce fait, lorsque la probabilité de percevoir l'arrivée précoce des pluies augmente de 100%, la chance d'adopter des pratiques modernes (écologiquement non durables) augmente de 81 %. Par contre, elle est négativement corrélée de façon non significative avec l'adoption de l'agroforesterie et l'adoption de nouvelles variétés de semences.

La corrélation positive de la perception de l'arrivée précoce des pluies avec l'adoption des stratégies de gestion des sols sans produits chimiques, s'explique par le fait que dans un contexte d'agriculture de type pluvial, l'arrivée précoce des pluies avantage plus les producteurs. Elle leur permet de semer pour récolter tôt la moisson afin de résoudre les problèmes de rupture des vivres, le plus souvent constaté entre la fin de la saison sèche et le début de la saison pluvieuse. De plus, l'arrivée précoce offre la possibilité aux producteurs de semer la variété de semence à cycle long, généralement qualifiée de meilleure aux nouvelles variétés de semences à cycle court par rapport au rendement et le bon goût [21].

De tout ce qui précède, il est important de constater que les aléas tels que : l'apparition de nouvelles espèces d'herbes, des insectes ravageurs, le démarrage tardif des pluies et la hausse de la température, bien qu'ayant été les aléas majoritairement perçus par les producteurs, cette perception n'a influencé que positivement l'adoption des pratiques écologiquement non durables (susceptibles d'augmenter la vulnérabilité du producteur). Par contre, elle influence négativement l'adoption des pratiques agricoles écologiquement durables, susceptibles de réduire la vulnérabilité future du producteur face aux aléas climatiques.

Tableau 3. Résultats d'estimation des déterminants d'adoption des pratiques agricoles en production de maïs

Variables	Déterminants des pratiques agricoles dans la production du maïs							
	Groupe 1 :		Groupe 2 :		Groupe 3 :		Groupe 4	
	Les producteurs modernes qui utilisent les produits chimiques		Les adoptants de l'agroforesterie		Les adoptants de nouvelles variétés de semences		Les gestionnaires des sols	
	Coefficients	Effet marginaux	Coefficients	Effet marginaux	Coefficients	Effet marginaux	Coefficients	Effet marginaux
Contact avec la vulgarisation	1,69** (0,73)	0,16** (0,06)	-	-	0,14 (0,50)	0,02 (0,06)	-0,78* (0,47)	-0,09* (0,57)
Expérience en agriculture du chef de ménage	0,42* (0,23)	0,003* (0,002)	-0,04** (0,02)	-0,005** (0,002)	-0,01 (0,01)	-0,002 (0,002)	0,02* (0,01)	0,003* (0,003)
Niveau d'éducation	-0,57 (0,49)	-0,05 (0,04)	0,97* (0,55)	0,12* (0,07)	0,14 (0,43)	0,01 (0,06)	0,93* (0,47)	0,11** (0,05)
Taille du ménage	-0,08*** (0,02)	-0,08*** (0,002)	0,07** (0,03)	0,009** (0,004)	0,01 (0,03)	0,001 (0,005)	-0,006 (0,02)	-0,0007 (0,006)
Superficie du maïs emblavée (ha)	0,009 (0,06)	0,0009 (0,005)	-0,03 (0,04)	-0,004 (0,006)	0,08* (0,05)	0,01* (0,006)	-0,008 (0,05)	-0,001 (0,006)
Superficie du coton emblavée (ha)	0,07 (0,06)	0,007 (0,006)	-0,04 (0,04)	-0,003 (0,005)	-0,10* (0,05)	-0,01 (0,008)	-0,04 (0,05)	-0,004 (0,007)
zone agro-écologique II (Nord-Ouest)	6,67*** (1,41)	0,63*** (0,11)	-	-	-2,39*** (0,43)	-0,32*** (0,10)	-	-
zones agro-écologique I	5,94*** (1,55)	0,56*** (0,12)	-	-	-1,55** (0,68)	-0,21** (0,10)	-	-
zone agro-écologique II (Nord- Est)	-	-	0,98 (0,90)	0,13 (0,11)	0,51 (0,60)	-0,07 (0,08)	1,00 (0,71)	0,12 (0,08)
zones agro-écologique III	1,25*** (1,02)	0,11*** (0,09)	0,96 (0,61)	0,12 (0,08)	-	-	0,98 (0,45)	0,11 (0,05)
Activité secondaire élevage	0,84 (0,66)	0,08 (0,06)	-	-	0,24 (0,43)	0,03 (0,05)	0,28 (0,47)	0,03 (0,05)
Perception à la fois des ravageurs, forte température, maladies des cultures et le démarrage tardif des pluies	3,4* (2,04)	0,33* (0,18)	-4,65** (1,68)	-0,61*** (0,24)	0,25 (1,73)	0,03 (0,23)	-4,37** (0,74)	-0,52*** (0,20)
Perception de l'arrivée précoce des pluies	8,57** (3,92)	0,81** (0,34)	-4,47 (2,97)	-0,59 (0,40)	-1,97 (1,84)	-0,27 (0,41)	1,42 (2,18)	0,17 (0,26)
Constantes	-8,50 (2,84)	-	0,65 (1,43)	-	-1,28 (1,51)	-	0,15 (1,61)	-
Nombre d'observations	276				276		276	
Kh ² de Wald	108,47*** (ddl=12)		26,99*** (ddl=09)		33,58*** (ddl= 12)		55,76*** (ddl=11)	
R ² ajusté(%)	53,64		19,99		13,04		23,99	
Prob > chi2	0.00		0.00		0.00		0.00	

Source : Résultats des auteurs, 2018

NB : les valeurs entre parenthèses sont les erreurs-types ; ddl : degré de liberté et *** : valeur significative à 1 % ($P < 0,01$) ; ** : valeur significative à 5 % ($0,01 < P \leq 0,05$) ; * : valeur significative à 10 % ($0,05 < P \leq 0,10$).

4 DISCUSSION

Les résultats obtenus mettent en exergue les facteurs déterminants de l'adoption des stratégies agricoles face aux aléas climatiques. En s'appuyant sur les services-conseils offerts par le Clubs-conseils en agroenvironnement [20], nous remarquons que seules l'agroforesterie et les stratégies agricoles de gestion des sols sans produits chimiques, adoptées par les producteurs pour s'adapter face aux aléas climatiques, s'inscrivent dans les axes d'interventions agroenvironnementaux.

Par contre, l'augmentation de la dose des produits chimiques et l'extensification agricole qui caractérisent les modernistes sont des pratiques contre les prescriptions du Club-Conseil en Agroenvironnement. En effet, pour s'adapter, lorsque les producteurs n'ont plus la possibilité de trouver de nouveaux espaces cultivables pour étendre leur superficie à emblaver, ils font recours aux produits chimiques en surdose dont les effets positifs sont de court terme. Ce comportement expose ces derniers à un problème de baisse de fertilité qui survient après la destruction des microorganismes du sol. Une nouvelle

contrainte ainsi créée, conduit ces producteurs à faire le double semis à cause de l'incapacité des semences à supporter les nouvelles propriétés chimiques du sol et la pression des ravageurs. De plus, il est important de préciser, que le semis direct réalisé par les modernistes, qui sous-entend la conservation du sol, est dû à l'usage des pesticides qui provoque la décomposition forcée de la terre dans le but d'économiser le temps pour plus emblaver, et non dans le souci de conserver réellement le sol selon les règles agronomiques.

Les résultats ont aussi montré que le choix d'adopter une stratégie agricole varie d'une commune à une autre et est influencé par les facteurs sociodémographiques, économiques, la superficie emblavée et la perception des aléas climatiques du producteur.

Par rapport à l'influence de l'éducation du chef de ménage et la taille du ménage sur le choix du type de stratégie d'adaptation, les résultats confirment ceux de [20], qui ont montré l'agroforesterie et la diversification agropastorale comme des stratégies d'adaptation et leur adoption est positivement influencée par le niveau d'éducation du chef de ménage et la taille du ménage.

A la différence des résultats des travaux de [23], [12], [24] et [19], qui considèrent les réactions des producteurs face aux aléas climatiques perçus, comme des stratégies d'adaptation, les résultats de notre étude ont permis de constater qu'en réalité, les producteurs de par les stratégies adoptées relativement à leur perception, ne se préoccupent pas des aléas climatiques, mais poursuit un objectif économique de production qu'est la maximisation de leur revenu qui, écologiquement le rend plus vulnérable. Ainsi, se confirme la théorie de maximisation de profit du producteur face à plusieurs options de choix et le rejet de l'hypothèse de rationalité écologique du producteur dans le choix des pratiques de [17]. Nos résultats corroborent aussi ceux de [25], [13] et [14], qui ont trouvé que les changements de l'utilisation des terres et de stratégies pour subvenir aux besoins sont guidés par une gamme de facteurs parmi lesquels le climat importe peu.

5 CONCLUSION

Cette étude s'inscrit dans une logique de compréhension des réels facteurs qui expliquent le choix d'une stratégie agricole dans un contexte d'aléas climatiques. Conscient que la réaction du producteur n'est intelligible qu'en fonction de sa perception des faits, dans un premier temps, la perception des aléas climatiques a été étudiée avant de déterminer son influence sur le comportement du producteur. Les résultats montrent que les producteurs perçoivent majoritairement à la fois l'arrivée tardive des pluies, la température plus chaude, l'augmentation de la population des ravageurs, l'augmentation et l'apparition de mauvaises espèces d'herbes et l'augmentation des maladies des cultures. Toutefois, les analyses économétriques ont permis de comprendre que les aléas climatiques perçus par les producteurs, ne paraissent point leur soucier, pour qu'ils adoptent des pratiques agroenvironnementales, car bien qu'ayant perçus, ils adoptent plus les stratégies agricoles [l'augmentation de la dose des produits chimiques et l'extensification agricole] dans le souci de maximiser leur utilité. En effet, le choix des producteurs en termes d'adoption de pratiques agricoles est orienté vers des pratiques qui les rendent écologiquement plus vulnérables face aux aléas climatiques. Cette logique des producteurs est contraire à celle des spécialistes de l'environnement qui prône "les pratiques agricoles intelligentes" qui garantissent la réduction de la vulnérabilité des producteurs tant écologique, sociale, économique qu'humaine.

De plus, les analyses ont permis de constater que les maïsiculteurs pour maximiser leur production décident d'augmenter leur superficie en coton, ce qui les pousse à détruire tous les fronts pionniers à la recherche du mieux-être. Par la suite, face au caractère limité de la terre et la baisse de sa fertilité due à sa surexploitation, les producteurs font recours à une surdose des produits chimiques pour maintenir l'équilibre. Ainsi, l'adoption des produits chimiques, dont les effets positifs sont de court terme, accentue le problème de la baisse de fertilité suite à la destruction des microorganismes du sol. Par conséquent, les producteurs se trouvent contraints à faire le double semis à cause de l'incapacité des semences à supporter les nouvelles propriétés chimiques du sol et la pression des ravageurs et plus exposés aux caprices du climat.

Cette étude recommande aux producteurs d'adopter des "pratiques intelligentes" qui peuvent leur permettre d'augmenter la production tout en sauvegardant l'environnement pour mieux faire face aux aléas climatiques. A l'endroit des décideurs politiques, il urge que des mesures d'interdiction formelles d'importations des produits chimiques soient prises et accélérer la vulgarisation pour le retour vers l'agriculture biologique.

REFERENCES

- [1] NIANG I. Le changement climatique et ses impacts: les prévisions au niveau mondial. *Liaison Énerg Francoph.* 2009;(OCT):13–20.
- [2] Agossou DSM, Tossou CR, Vissoh VP, Agbossou KE. Perception des perturbations climatiques, savoirs locaux et stratégies d'adaptation des producteurs agricoles béninois. *Afr Crop Sci J.* 2012;20(2):565–588.

- [3] GIEC. Résumé à l'intention des décideurs. In: Changements climatiques 2014, L'atténuation du changement climatique. Contribution du Groupe de travail III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [sous la direction de Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel et J.C. Minx]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique. 2014.
- [4] Oli Brown et Alec Crawford. Évaluation des conséquences des changements climatiques sur la sécurité en Afrique de l'Ouest : Étude de cas nationale du Ghana et du Burkina Faso. 2008.
- [5] MEHU. Deuxième Communication Nationale de la République du Bénin sur les Changements Climatiques. Cotonou: Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme; 2011.
- [6] Yvonne M, Richard O, Solomon S, George K. Farmer Perception and Adaptation Strategies on Climate Change in Lower Eastern Kenya: A Case of Finger Millet (*Eleusine coracana* (L.) Gaertn) Production. *J Agric Sci*. 6 nov 2016;8(12):33.
- [7] Edward R. Rhodes, Abdulai Jalloh, et Aliou Diouf. Revue de la recherche et des politiques en matière d'adaptation au changement climatique dans le secteur de l'agriculture en Afrique de l'Ouest. 2014.
- [8] Deressa TT, Hassan RM, Ringler C, Alemu T, Yesuf M. Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia. *Glob Environ Change*. 2009;19(2):248–255.
- [9] Gnangle PC, Egah J, Baco MN, Gbemavo CD, Kakaï RG, Sokpon N. Perceptions locales du changement climatique et mesures d'adaptation dans la gestion des parcs à karité au Nord-Bénin. *Int J Biol Chem Sci*. 2012;6(1):136–149.
- [10] Yegbemey RN, Yabi JA, Tovignan SD, Gantoli G, Haroll Kokoye SE. Farmers' decisions to adapt to climate change under various property rights: A case study of maize farming in northern Benin (West Africa). *Land Use Policy*. sept 2013; 34:168-75.
- [11] Piya L, Maharjan KL, Joshi NP. Determinants of adaptation practices to climate change by Chepang households in the rural Mid-Hills of Nepal. *Reg Environ Change*. avr 2013;13(2):437-47.
- [12] Katé S. Manifestation des changements climatiques et perception des producteurs dans les zones cotonnières: Cas de l'arrondissement de Founougo (Commune de Banikoara). Mém Pour L'obtention Diplôme D'étude Approfondie Univ D'Abomey-Calavi Bénin 64pp. 2011;
- [13] Mertz O, Mbow C, Reenberg A, Diouf A. Farmers' Perceptions of Climate Change and Agricultural Adaptation Strategies in Rural Sahel. *Environ Manage*. mai 2009;43(5):804-16.
- [14] Callo-Concha D. Farmer Perceptions and Climate Change Adaptation in the West Africa Sudan Savannah: Reality Check in Dassari, Benin, and Dano, Burkina Faso. *Climate*. 25 mai 2018;6(2):44.
- [15] Fishbein M, Ajzen I. Belief, Attitude, Intention, and Behavior: An Introduction to Theory and Research. Reading, MA: Addison-Wesley. 1975.
- [16] McFadden D. The revealed preferences of a government bureaucracy: Theory. *Bell J. Econ*. 401–416. 1975;
- [17] Laura Vang Rasmussen, Anette Reenberg. Collapse and Recovery in Sahelian Agro-pastoral Systems Rethinking Trajectories of Change. *Resil Alliance Inc*. mars 2012;17(1):12.
- [18] David Maddison. The perception and adaptation to climate change in Africa. Policy Research Working Paper WPS4308. Washington (DC): The World Bank, Development Research Group, Sustainable Rural and Urban Development Team; www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/2007/08/06/000158349_20070806150940/Rendered/PDF/wps4308.pdf. 2007.
- [19] Gbetibouo GA. Understanding farmers' perceptions and adaptations to climate change and variability: The case of the Limpopo Basin, South Africa. Environment and Production Technology Division. IFPRI Discussion Paper 00849. Washington (DC) : IFPRI. www.ifpri.org/sites/default/files/publications/ifpridp00849.pdf. 2009.
- [20] COORDINATION SERVICES-CONSEILS. Bilan des réalisations 2012-2013- Evolution des pratiques agroenvironnementales des exploitations agricoles accompagnées par les clubs-conseils en agroenvironnement, 30 P. 2013 p. 30.
- [21] Lacy SM, Cleveland DA, Soleri D. Farmer choice of sorghum varieties in southern Mali. *Hum Ecol*. 2006;34(3):331–353.
- [22] Abid M, Schneider UA, Scheffran J. Adaptation to climate change and its impacts on food productivity and crop income: Perspectives of farmers in rural Pakistan. *J Rural Stud*. 2016;47:254–266.
- [23] Yegbemey RN, Yabi JA, Aïhounton GB, Paraïso A. Modélisation simultanée de la perception et de l'adaptation au changement climatique: cas des producteurs de maïs du Nord Bénin (Afrique de l'Ouest). *Cah Agric*. 2014;23(3):177–187.
- [24] Deressa TT, Hassan RM, Ringler C. Perception of and adaptation to climate change by farmers in the Nile basin of Ethiopia. *J Agric Sci*. févr 2011;149(01):23-31.
- [25] Barbier B, Yacouba H, Karambiri H, Zoromé M, Somé B. Human Vulnerability to Climate Variability in the Sahel: Farmers' Adaptation Strategies in Northern Burkina Faso. *Environ Manage*. mai 2009;43(5):790-803.

Etude géographique des facteurs de développement des moustiques dans les localités à risque potentiel de paludisme à Chiépo, en Côte d'Ivoire

[Geographical study of mosquito development factors in the potential malaria-risk localities of Chiépo, in Côte d'Ivoire]

Lazare TIA^{1,2} and Pierre Claver OGBAPO¹

¹Institut de Géographie Tropicale (IGT), UFR des Sciences de l'Homme et de la Société (SHS), Université Félix Houphouët-Boigny, 01 BP 10609 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

²Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS), 01 BP 1303 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

Copyright © 2019 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 eradication of parasitic diseases transmitted by vectors such as the malaria carrying mosquito depends partly on vector control which requires the knowledge of their development conditions in space and time. As a contribution, this study aims to determine geographically the environmental and anthropogenic driving factors that contribute to the development of mosquitoes in Chiépo sub-prefecture located in the forested area of Côte d'Ivoire. The study focuses on characterizing the spatial dynamics of mosquito breeding sites, analyzing population's behavior and socio-economic activities in the study area. To achieve this, geospatial data collection based on GIS techniques have been coupled with entomological methods of culicidal fauna prospection. The results of the investigations show that natural ecosystems, populations' behavior, lifestyle and poor prophylactic knowledge, coupled with the type of socio-economic activities, contribute to the development of mosquitoes by providing them with breeding sites, rest shelter and availability of their blood meals at short-distance. Breeding sites are mainly permanent (42.9 %) and temporary (37.4 %). They contain three genera of mosquito larvae predominantly *Culex* (47 %) which is present in 80 % of the localities of the study area. High larval density localities are Chiépo (*Anopheles* and *Aedes*), CFI and Guiguidou (*Culex*).

KEYWORDS: Côte d'Ivoire, breeding site, GIS, malaria vector.

RÉSUMÉ: L'éradication de maladies parasitaires transmises par des vecteurs tels que le moustique porteur de paludisme dépend en partie de la lutte anti-vectorielle qui passe par la connaissance des conditions de développement de ces vecteurs dans l'espace et dans le temps. En guise de contribution, la présente étude s'assigne l'objectif de déterminer géographiquement les facteurs environnementaux et anthropiques qui contribuent au développement des moustiques dans la sous-préfecture de Chiépo située en zone forestière de la Côte d'Ivoire. L'étude se focalise sur la caractérisation de la dynamique spatiale des gîtes larvaires de moustique, l'analyse des comportements des populations et des activités socio-économiques dans la zone d'étude. Pour cela, les techniques du SIG de collecte de données géospatiales ont été couplées aux méthodes entomologiques d'inventaire de la faune culicidienne. Les résultats des investigations attestent que les écosystèmes naturels, les comportements, le mode de vie et le faible niveau de connaissance prophylactique des populations, couplés avec le type d'activités socio-économiques, contribuent au développement des moustiques qui disposent de gîtes de reproduction, de repos et de la disponibilité à courtes distances de leur repas sanguin. Les gîtes de reproduction sont principalement de type permanent (42,9 %) et temporaires (37,4 %). Ils abritent trois genres de larve de moustique à prédominance *culex* (47 %) présents dans 80 % des localités de la zone d'étude. Les localités à fortes densités larvaires sont Chiépo (*Anophèles* et *Aedes*), CFI et Guiguidou (*Culex*).

MOTS-CLEFS: Côte d'Ivoire, gîte larvaire, SIG, vecteur du paludisme.

1 INTRODUCTION

Le paludisme est la maladie parasitaire la plus fréquente et la plus meurtrière de la planète. Dans l'ensemble, le continent africain est le plus affecté avec 80 % des 207 millions de cas recensés dans le monde. De plus, l'Afrique concentre 90 % des 627 000 décès mondiaux dus au paludisme dont 77 % de ces décès concernent les enfants de moins de 5 ans [1].

A l'échelle nationale, le paludisme est considéré comme un problème de santé publique en Côte d'Ivoire, de par sa fréquence élevée, sa gravité et ses graves conséquences socio-économiques : il représente la première cause de morbidité avec 43 % des motifs de consultation dans les formations sanitaires du pays. En outre, ces structures ont enregistré plus de 3,5 millions de cas de paludisme en 2013, avec un taux d'incidence de 105‰ dans la population générale contre 295‰ chez les enfants âgés de moins de 5 ans [2].

Le district sanitaire du Lôh-Djiboua auquel appartient la sous-préfecture de Chiépo est considéré comme étant une zone sensible sur la base du taux d'incidence palustre et de l'Indice de Développement Humain (IDH) qui caractérise le niveau de pauvreté et du taux d'utilisation des services de santé [2]. Aussi, les différentes mutations spatiales à savoir la déforestation, les aménagements hydro-agricoles, etc. en cours dans cette localité associées aux conditions naturelles et humaines relatives au climat, au relief, au sol, à l'hydrographie, à la végétation, au mode de vie, au cadre de vie et aux activités socio-économiques de la population, ainsi que sa proximité avec la sous-préfecture de Tiassalé où le taux d'incidence palustre dans la population générale est de 113‰ prédisposent-elles la localité à de potentiels risques d'endémicité du paludisme

Ces chiffres illustrent le défi que constitue la lutte pour l'éradication du paludisme dans tous les pays où sévit cette endémie. Aussi, s'avère-t-il qu'une lutte basée sur une approche clinique et biologique de la prophylaxie portée sur la recherche d'un vaccin et la mise au point d'insecticides efficaces en vue de détruire les vecteurs, ne saurait prospérer si elle n'intègre pas d'autres disciplines. C'est pourquoi l'approche transdisciplinaire comprenant les sciences de l'entomologie médicale, de l'épidémiologie et les sciences sociales dans cette lutte est d'une utilité fort appréciable pour éradiquer cette pandémie.

Ainsi, les sciences sociales en général et la géographie de la santé en particulier, qui s'intéressent à la triade « Homme-Vecteur du paludisme-Environnement » dans une approche pluridisciplinaire est une belle illustration de cette nouvelle orientation. Elle permet plus facilement de cerner les questions liées au paludisme et bien d'autres maladies parasitaires dans leur globalité. En effet, l'homme est à la fois acteur et victime de la transformation de l'environnement. La compréhension de cette interaction dans le système pathogène du paludisme, permettra alors une meilleure lutte anti-vectorielle et ce, dans une interface établie avec l'entomologie médicale.

Sur cette base la présente étude vise à déterminer les facteurs environnementaux et anthropiques qui contribuent à la prolifération des moustiques dans la sous-préfecture de Chiépo, en Côte d'Ivoire. Cet objectif sera atteint à travers la caractérisation de la dynamique spatiale des gîtes larvaires, se focalisant sur le genre *anophèles*, vecteur du paludisme, et l'analyse des comportements et des activités socio-économiques dans la zone d'étude. Pour cela, les techniques du Système d'Information Géographique (SIG) de collecte de données géospatiales seront couplées aux méthodes entomologiques d'inventaire de la faune culicidienne.

2 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La sous-préfecture de Chiépo est située au sud dans la zone forestière de la Côte d'Ivoire, dans la région du Lôh-djiboua appartenant au département de Divo. (Figure 1). Elle s'étend sur une superficie de 568,6 km² et abrite une population de 31.006 habitants [3] (INS, 2014). Chiépo appartient à la zone tropicale humide avec un régime équatorial de transition, à quatre saisons. Les précipitations moyennes annuelles sont de 1397 mm, la température moyenne est de 26,9°C et la durée de l'insolation varie entre 1800 et 2000 h par an [4].

De par sa situation dans les secteurs mésophile et ombrophile du domaine guinéen, la végétation du Chiépo est dominée par les forêts sempervirente et semi-décidue à *Terminalia ivorensis* (Framiré), *Khaya ivorensis* (Acajou), etc. [5]. Cette végétation se résume à des reliques forestières du fait des intenses exploitations agricoles et de l'extraction du bois de ces trois dernières décennies.

Situé sur un relief de plaine de 0 à 200 mètres d'altitude, les sols y sont généralement ferrallitiques et leur fertilité repose sur des écosystèmes constitués de plaines alluviales et de bas-fonds marécageux de forte capacité de rétention en eau et de texture argileuse dès la surface issue des roches granitiques riches en feldspath [6]. Le réseau hydrographique est dense, formé de nombreux bas-fonds marécageux et de cours d'eau dont les principaux sont la rivière Gô et le Hôgny (ou le Gôgny).

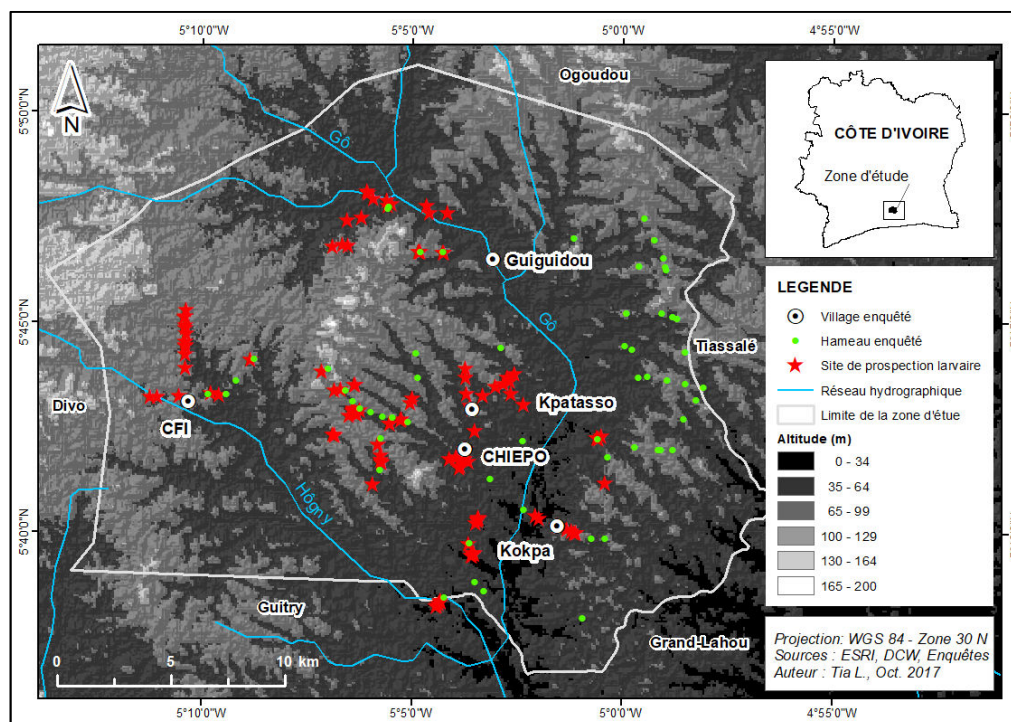


Fig. 1. Présentation géographique de la zone d'étude

3 MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1 COLLECTE DES DONNÉES

3.1.1 DOCUMENTATION

Les données de l'étude issues de la documentation ont été obtenues dans les services compétents du Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP), de l'Institut de Géographie tropicale (IGT), de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), du Centre de Recherche et d'Action pour la Paix (CERAP), de la bibliothèque de la faculté de médecine, etc.

3.1.2 ECHANTILLONNAGE ET ENQUÊTES DE TERRAIN

Les résultats de la recherche documentaire ont été complétés par des enquêtes de terrain, à savoir l'enquête ménage, l'observation directe du milieu physique et humain et la prospection larvaire. Ces différentes enquêtes se sont déroulées dans la période allant de fin août à début septembre 2015.

L'enquête auprès des chefs de ménage a permis de recueillir les informations relatives à la gestion et l'organisation du cadre de vie et du milieu agricole par les populations. Un questionnaire a permis de recueillir des informations sur le mode de gestion des eaux usées domestiques, des ordures ménagères et de la gestion de l'eau potable. Le nombre de ménage à enquêter ($n = 200$ chefs de ménage) a été déterminé par la formule ci-dessous [7] :

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

Où t est le niveau de confiance à 95 %, e est la marge d'erreur à 5 % et p est la proportion des ménages concernés par l'enquête.

Le choix des villages et leurs hameaux satellites ainsi que les ménages s'est fait par la méthode du choix raisonné en fonction des critères suivants :

- Critères de choix des chefs de ménage ; être âgé de 18 ans au moins et être un résident permanent.
- Critères de choix des localités (cfi, chiépo, kokpa, kpatasso et guiguidou) :
- Prédominance de mares, de plantations de palmier à huile (cfi);

- Prédominance d'étangs piscicoles, de bas-fonds marécageux, de cours d'eau, de cacaoyères (kokpa);
- Prédominance d'hévéaculture, de café-cacaoyères, population dense, intense activités économiques (chiépo) ;
- Prédominance de caféières ; situé dans l'ensemble sur un petit relief de plateau (kpatasso) ;
- Présence d'aménagements hydro-agricoles ; de bas-fonds (Guiguidou).

Des observations directes ont permis de décrire les caractéristiques physiques du milieu et de rendre compte de la prédisposition des milieux physique et humain à favoriser le développement et la prolifération des moustiques dans la sous-préfecture de Chiépo.

La prospection larvaire a permis de collecter des informations sur les gîtes de moustique. En effet, muni d'une fiche technique, la prospection larvaire a consisté à repérer les gîtes potentiels de culicidés aussi bien dans les villages, les hameaux et les campements (aux alentours des habitations et dans les ménages) que sur les routes inter-localités et dans les champs; et ce, dans un rayon de 5 kilomètres. Les prospections ont porté sur les gîtes d'origine naturelle (mare, cours d'eau, trou de crabe...) et humaine (citerne, fosse septique, étang, abreuvoir, bassine, barrage, fontaine, etc.).

Les larves de moustiques ont été prélevées selon la technique du « dipping » [8]. Ensuite, chaque gîte a été géoréférencé à l'aide d'un GPS de résolution 6 m et photographié à l'aide d'un appareil photo numérique de résolution 10 X optimal zoom.

3.1.3 TRAITEMENT DES DONNÉES

L'ensemble des questionnaires administrés sur le terrain et les données de l'enquête entomologique ont été dépouillés manuellement, puis hiérarchisés dans le logiciel Microsoft Excel. Les traitements ont permis de sortir des graphiques et statistiques relatifs aux questions d'intérêt. Les données du GPS ont été compilées dans Excel en complément des données d'enquêtes de ménage et d'observations de terrain, pour constituer une base de données SIG qui a été importée dans le logiciel ArcGIS 10.2 (ESRI Inc., France). Dans ArcGIS, les données Excel converties en shapefiles ont permis d'obtenir des couches de données superposables à d'autres couches de données existantes pour des fins de manipulations SIG. Les cartes obtenues dans ArcGIS ont été exportées en format "png" pour servir de figures d'illustrations dans l'article.

4 RÉSULTATS

4.1 FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX CONTRIBUANT AU DÉVELOPPEMENT DES MOUSTIQUES

4.1.1 CONDITIONS CLIMATIQUES FAVORABLES

Dans la zone d'étude, les facteurs du milieu physique qui favorisent la reproduction et le développement des moustiques dans l'aire écologique qu'ils partagent avec l'hôte humain se résument au climat, l'hydrographie, le relief, les sols et la végétation. En effet, de par sa situation géographique dans le domaine guinéen, caractérisée par un climat de régime équatorial de transition, la sous-préfecture de Chiépo enregistre d'abondantes pluviométries annuelles oscillant entre 1200 et 1700 et réparties sur quatre saisons, à savoir deux saisons sèches (décembre à février et juillet à mi-septembre) et deux saisons pluvieuses (mars à juillet et mi-septembre à novembre). Ces précipitations sont soutenues par une durée d'insolation comprise entre 1800 et 2000 heures par an, avec une température moyenne annuelle de 26,9 °C (Figure 2) et une humidité relative moyenne de 85 %.

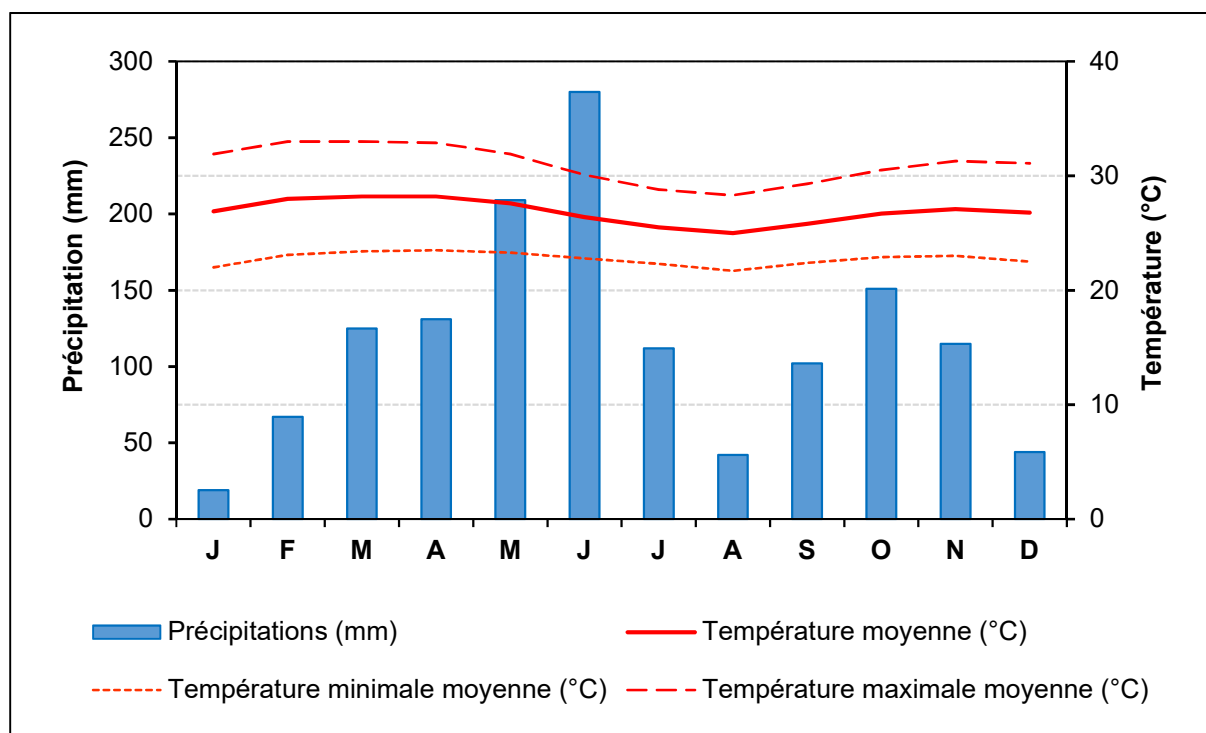


Fig. 2. Moyennes de température et de précipitations de la zone d'étude de 1982 à 2012

Source des données : <http://fr.climate-data.org>

4.1.2 RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE ASSEZ DENSE

La sous-préfecture de Chiépo est arrosée par deux principaux cours d'eau, à savoir les rivières Gô et Hôgny, leurs affluents et de nombreux ruisseaux à régimes changeant de permanent à semi-permanent au gré des variations climatiques. Pendant la saison des pluies, certains cours d'eau débordent pour inonder l'espace environnant sur près d'un kilomètre de part et d'autre du lit principal (Figure 3). Ces inondations de crues peuvent durer des jours voire des semaines en fonction de l'intensité et de la durée des saisons pluvieuses. Cela crée des conditions écologiques favorables au développement des moustiques.

4.1.3 RELIEF DE PLAINE ET SOLS FAVORISANT LES INONDATIONS

Située à la lisière de la plaine côtière, le relief de la sous-préfecture de Chiépo est essentiellement constitué de plaines dont les altitudes varient entre 0 et 200 m. Les sols de la sous-préfecture de Chiépo sont généralement de type ferralitique (perméables). Cependant, l'existence de nombreux bas-fonds marécageux et d'un important réseau hydrographique favorisent le développement d'autres types de sols que sont les sols sableux (très perméables), les vertisols (peu perméables), les sols argilo-sableux (hydromorphes) et les sols alluviaux (plus ou moins hydromorphes). Tous ces éléments prédisposent une grande partie (75 %) de l'espace d'étude à de fréquentes inondations pendant les saisons de pluies (Figure 3).

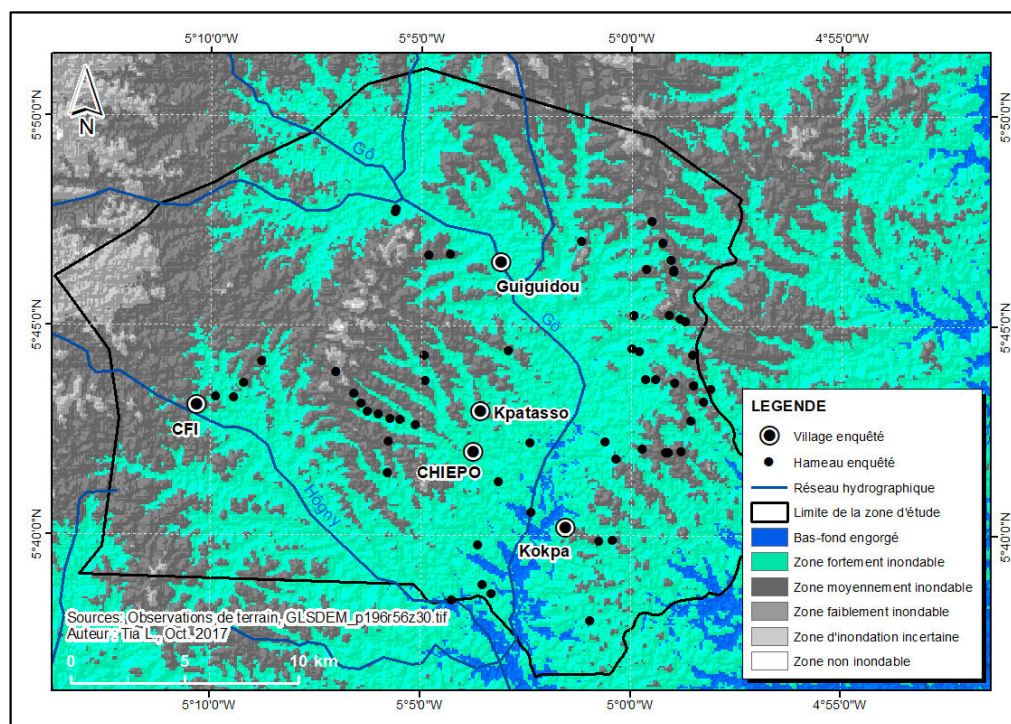


Fig. 3. Etendue des zones d'inondation et des bas-fonds engorgés en fin de saison des pluies dans la sous-préfecture de Chiépo

4.1.4 VÉGÉTATION ORIGINELLEMENT DE TYPE FORÊT SEMPERVIRENTE ET SEMI-DÉCIDUE

Constituée à l'origine de forêt sempervirente et semi-décidue, la végétation de la sous-préfecture de Chiépo est réduite aujourd'hui à une mosaïque de reliques forestières composée de jachères arbustives, de jachères à *Chromolaela odorata* et à *Panicum sp.*, de plantations (cacaoyères, caféières, hévéacultures, cocoteraies, teck et de palmiers à huile), d'un périmètre rizicole de 443 ha et de lopins de forêt vierge à certains endroits des cours d'eau Hôgny et Gô.

4.2 FACTEURS ANTHROPIQUES CONTRIBUANT AU DÉVELOPPEMENT DES MOUSTIQUES

4.2.1 PROXIMITÉ DU CADRE DE VIE DES MÉNAGES AVEC LES SITES DE REPRODUCTION DES MOUSTIQUES

Les résultats de l'étude montrent que 90,5 % des ménages enquêtés sont installés à proximité d'un élément du milieu physique (à une distance ≤ 2 km) favorable au développement des moustiques, à savoir une zone marécageuse, un périmètre rizicole, un cours d'eau permanent, un étang piscicole, un barrage hydro-agricole, etc. Ces ménages sont principalement installés à proximité d'une zone marécageuse (47,5 %), d'un périmètre rizicole (20,5 %) et d'un cours d'eau permanent (15 %). Dans la zone d'étude, Guiguidou et Chiépo sont les plus exposés aux sites de reproduction de moustique. Il s'agit respectivement des cours d'eau permanents, des périmètres rizicoles (20,5 %) et des zones marécageuses (18 %) (Tableau 1).

Tableau 1. Proximité des ménages avec un site de reproduction des moustiques

Environnement des ménages	Kokpa (%)	Guiguidou (%)	Kpatasso (%)	Chiépo (%)	CFI (%)	Total (%)
Près de zone marécageuse (ZM)	8,5	5,5	2	18	13,5	47,5
Près de ZM et cours d'eau (CE)	3	0	0,5	4,5	7	15
Près de ZM et étang piscicole (EP)	0,5	0	0	3	0	3,5
Près de CE et périmètre rizicole (PR)	0	20,5	0	0	0	20,5
Près de PR et bassin hydro-agricole (BH)	0	4	0	0	0	4
Loin de ZM, CE, EP, PR et BH	1,5	1,5	2	3,5	1	9,5

Source : Nos enquêtes, 2015

4.2.2 MAUVAISE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES

Les observations de terrain ont permis de constater que les populations jettent les ordures ménagères dans les ruelles, sur les pistes inter-villages et dans les trous d'emprunt de terre creusés derrière les maisons. La quasi-totalité des ménages enquêtés (75%) jettent leurs ordures dans des dépôts sauvages (DS) situés à moins de 10 m de leur lieu d'habitation. Cela s'observe beaucoup plus à Chiépo (22,5 %), Guiguidou (21,5 %) et CFI (15,5 %) (Figure 4). Pendant la saison des pluies, les trous d'emprunt de terre, les boîtes de conserve et autres récipients usés entassés dans les DS piègent de l'eau de pluie formant ainsi des habitats pour la ponte d'œufs de moustiques à proximité des habitations humaines.

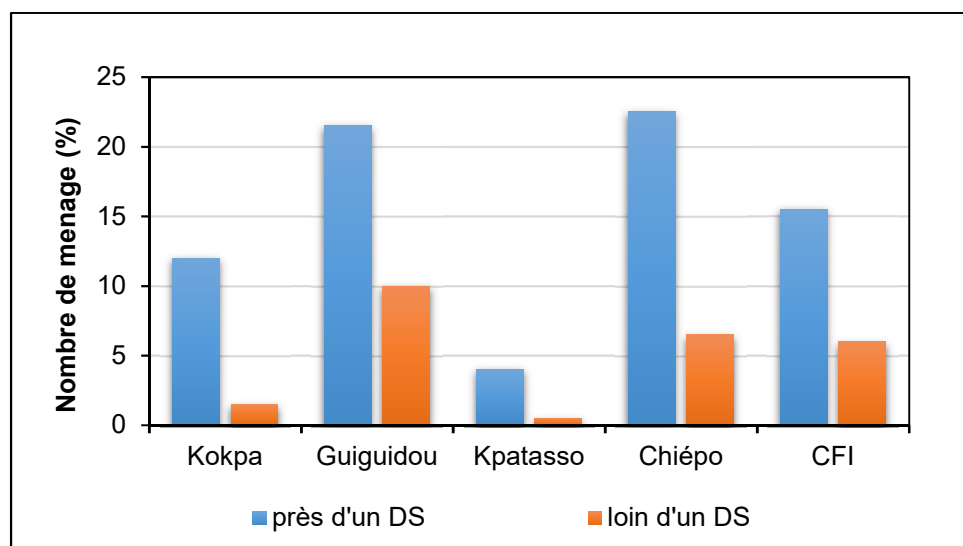


Fig. 4. Distance habitation-lieu de déversement des ordures ménagères par localité.

DS = Dépôt Sauvage ; près d'un DS = distance ≤ 10 m ; loin d'un DS = distance > 10 m.

Dans l'ensemble, les eaux grises issues des toilettes sont directement déversées dans les rues compte tenu de l'absence de réseau d'assainissement (Figure 5). Leur mode d'évacuation est laissé à l'appréciation de chaque ménage. Les prospections larvaires ont permis de collecter des larves de moustique de genre *Anophèles* et *Aedes* dans ces eaux grises derrière les toilettes de fortune. Les résultats de l'enquête révèlent que 91 % des ménages interrogés utilisent des toilettes à risque potentiel de reproduction et de développement de moustiques (Tableau 2). Cette situation se retrouve majoritairement à Guiguidou (28,5%), Chiépo (26%) et CFI (20%).



Fig. 5. Mauvaises évacuations d'eaux usées favorisant le développement des moustiques

Tableau 2. Typologie des toilettes par localité

Type de toilette	Kokpa	Guiguidou	Kpatasso	Chiépo	CFI	Total
TFS (%)	9	19	1,5	17	15,5	62
TFSO (%)	3,5	9,5	2,5	9	4,5	29
TFSF (%)	1	3	0,5	3	1,5	9
Total (%)	13,5	31,5	4,5	29	21,5	100

Source : Nos enquêtes, 2015

Abréviations : TFSF = Toilette avec fosse septique Fermée ; TFSO = Toilette avec fosse septique ouverte ; TFS = Toilette sans fosse septique.

4.2.3 DIFFICULTÉS D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DES MÉNAGES

Les eaux pluviales et les puits sont les principales sources d'approvisionnement en eau des populations de la sous-préfecture de Chiépo. Leurs productions sont complétées par les ressources des pompes villageoises installées dans certaines localités notamment Kokpa (10,6 %), Chiépo (10,6 %), CFI (10,6 %), Guiguidou (4,3 %) et Kpatasso (2,1 %). Le mauvais usage des pompes villageoises et des puits est à l'origine de la création de points d'eau stagnant qui constituent des gîtes larvaires de moustiques. En outre, les difficultés d'accès à l'eau de consommation domestique justifient l'utilisation de réservoirs en ciment pour la conservation de l'eau par 38 % des ménages. Ces récipients non couverts servent de gîtes larvaires aux moustiques à CFI (15,5 %), Guiguidou (14 %) et Kokpa (8,5 %) (Figure 6



Fig. 6. Modes de gestion de l'eau à usage domestique favorisant la reproduction des moustiques

Dans ces localités, les prospections larvaires dans des citernes en ciment ont permis de dénombrer des larves de moustiques : il s'agit des larves de *Culex* (21,7 lv/l) et d'*Aedes* (17,7 lv/l) dans les hameaux de Guiguidou, des larves d'*Aedes* (10,9 lv/l) à Kokpa et de *Culex* (3,1 lv/l) à CFI.

4.3 IMPACTS DES ACTIVITÉS SOCIO-ÉCONOMIQUES SUR LE DÉVELOPPEMENT DES MOUSTIQUES

4.3.1 REPROFILAGE DES PISTES VILLAGEOISES, EXPLOITATION FORESTIÈRE ET ACTIVITÉS PASTORALES

Dans la sous-préfecture, les opérations de reprofilage des pistes villageoises et de l'exploitation forestière sont à l'origine de la création des tranchées et des ornières qui deviennent des gîtes potentiels en saison pluvieuse : à Chiépo, les ornières hébergent parfois des larves d'*Anophèles* (5,7 lv/l) et de *Culex* (37,7 lv/l). Il en est de même des activités pastorales qui se développent dans la zone d'étude. Il s'agit de l'élevage de poulet, de mouton, de porc et des activités piscicoles (Figure 7).



Fig. 7. Activités agro-pastorales contribuant fortement au développement des moustiques

4.3.2 ACTIVITÉS AGRICOLES FAVORISANT LE DÉVELOPPEMENT DES MOUSTIQUES

La sous-préfecture de Chiépo enregistre d'intenses activités agricoles diversifiées. Dans les plantations de cacao, les tas de cabosses vides qui recueillent de l'eau pendant la saison des pluies deviennent de véritables « champs larvaires » de moustiques. A Chiépo, des cabosses de cacao vides contenaient de fortes densités de larves de *Culex* chacune (131,4 lv/l).

Les opérations de production de la liqueur traditionnelle appelée « Koutoukou » demandent la mise en place des dispositifs qui créent des retenues d'eau à l'aide de bâches en plastique noir. Ces dispositifs réunissent les conditions idéales de température d'éclosion des œufs de moustiques (Figure 8). La prospection larvaire a révélé que dans la localité de CFI, ce genre de retenues d'eau contenaient des larves de *Culex*.



Fig. 8. Activités économiques favorisant fortement la prolifération des moustiques

La création de deux barrages hydro-agricoles et d'un périmètre irrigué de 443 ha à partir de 1999, a redessiné le paysage agraire de la sous-préfecture de Chiépo. Cela a eu pour conséquence l'augmentation des surfaces d'eau entraînant un accroissement des biotopes favorables à l'émergence de vecteurs et hôtes intermédiaires de maladies parasitaires telle la filariose, la dengue, la fièvre jaune, le paludisme, etc. Ainsi, dans la localité de Guiguidou, certains casiers rizicoles et des canaux d'irrigation contenaient des larves des genres *Anophèles* (19,1 lv/l) et *Culex* (10,4 lv/l).

4.4 DYNAMIQUE SPATIALE ET ABONDANCE CULICIDIENNE DES GÎTES LARVAIRES DE MOUSTIQUES

4.4.1 CARACTÉRISTIQUES DES GÎTES LARVAIRES DE MOUSTIQUE

L'analyse de la dynamique spatiale et de l'abondance des gîtes larvaires de moustiques a permis de mettre en relief le niveau de colonisation des surfaces d'eau de chaque localité de la zone d'étude. Sur l'ensemble des 131 gîtes prospectés, seulement 56 étaient positifs (42,7 %) et se concentraient à Chiépo (37,6 %). Cependant, la prise en compte du taux de positivité de chaque localité, c'est-à-dire le nombre de gîtes positifs sur l'ensemble des gîtes prospectés, il ressort que les localités de CFI (61%) et Guiguidou (55 %) sont les plus productives. Ces gîtes ont été repartis en gîtes naturels (Ornière, flaque d'eau, marécage, trou de crabe, mare et cours d'eau) et anthropiques (Bassine, étang piscicole, canal de desserte, barrage, abreuvoir, cabosse de cacao vide, trou d'emprunt de banco, citerne, casier rizicole, fosse septique, flaque d'eau usée, flaque d'eau du réseau).

L'analyse des résultats de la prospection larvaire montre une prédominance des gîtes anthropiques (59 %) sur l'ensemble des gîtes productifs. Il s'agit de récipients à usage domestique, d'étangs piscicoles, de canaux de desserte d'eau, de barrage hydro-agricole, d'abreuvoirs, de cabosses de cacao vides, de trous d'emprunt de terre, de citernes de stockage d'eau, de casiers rizicoles, de flaques d'eaux usées domestiques, etc. Ces gîtes sont présents dans chaque localité sauf à Chiépo où prédominent les gîtes naturels (25 %) comprenant les ornières, les flaques d'eau de pluie, les marécages, les trous de crabe, les mares, les cours d'eau, etc. Aucun gîte naturel productif n'a été trouvé à Kpatasso.

Les résultats de l'enquête révèlent que sur l'ensemble des 56 gîtes positifs, la majorité (42,9 %) était des gîtes permanents (marécage, étang piscicole, mare, cours d'eau, flaque d'eaux usées domestiques, barrage hydro-agricole, abreuvoir, fosse septique...). La plupart de ceux-ci a été retrouvé à Chiépo (21,4 %). Ensuite, viennent les gîtes temporaires (37,4 %) regroupant les ornières, les flaques d'eau de pluie, les récipients à usage domestique, les trous d'emprunt de terre, les cabosses de cacao vides... dont la majorité a été retrouvé à CFI (16 %) et à Chiépo (14,3 %). Enfin, les gîtes semi-permanents (les trous de crabe, les citernes de conservation d'eau, les casiers rizicoles, canaux d'irrigation rizicole, les drains, etc.) sont beaucoup présents à Guiguidou (14,3 %).

Les larves de moustiques ont été majoritairement récoltées dans les gîtes permanents (52 %), puis dans les gîtes temporaires (27 %) et enfin dans les gîtes semi-permanents (21 %) (Figure 9). Sur l'ensemble de la zone d'étude, 44 % des *Anophèles*, 57 % des *Culex* et 53 % des *Aedes* ont été retrouvée dans les gîtes permanents.

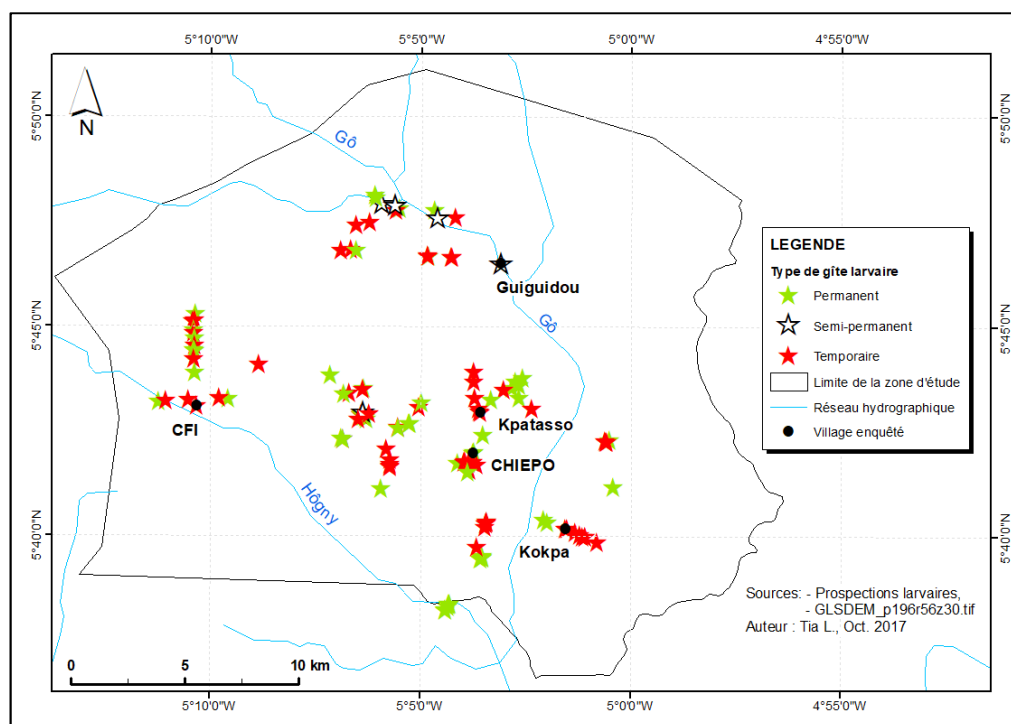


Fig. 9. Typologie des gîtes larvaires prospectés

4.4.2 RICHESSE SPÉCIFIQUE DES GÎTES LARVAIRES POSITIFS

Les prospections larvaires ont permis de récolter 3754 larves réparties sur trois genres de moustiques en des proportions variables dans la zone d'étude : les larves de *Culex* (47 %) prédominent, suivies des *Anophèles* (30 %) et des *Aedes* (23 %) (Figure 10). La localité de Chiépo héberge 52 % d'*Anophèles* et 39 % d'*Aedes*.

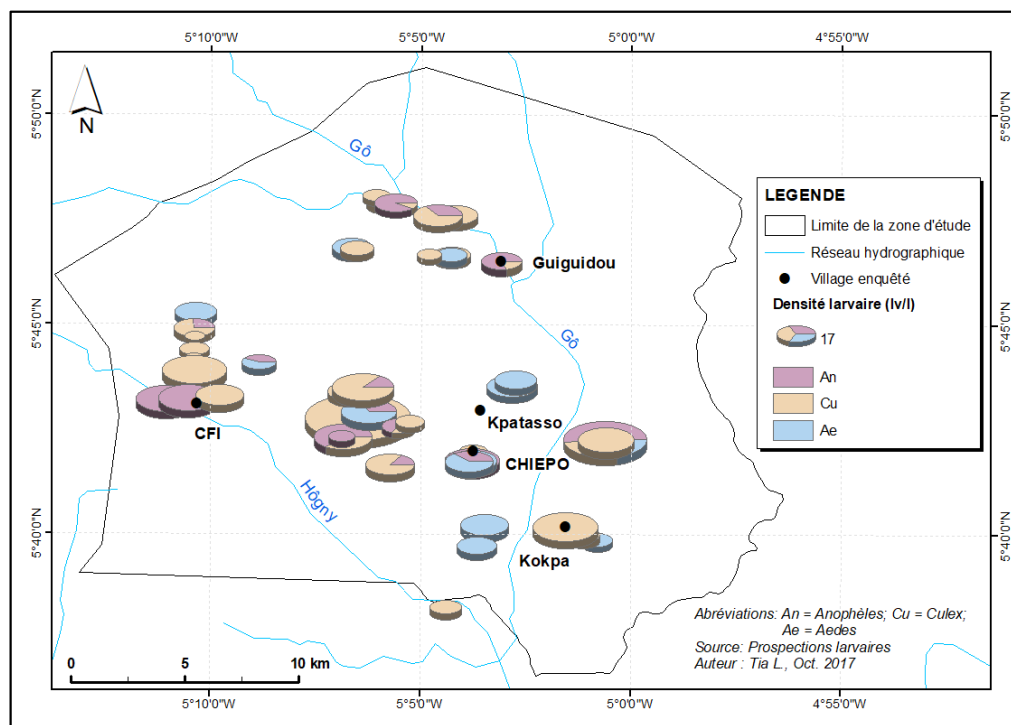


Fig. 10. Densités des larves de moustique par site de prospection larvaire

5 DISCUSSION

5.1 CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES ET CADRE DE VIE FAVORABLES

Les résultats de cette étude montrent que la zone d'étude bénéficie de conditions environnementales favorables au développement des moustiques. Cela concorde avec les résultats d'étude de nombre d'auteurs ([9], [10], [11]) qui ont montré qu'une pluviométrie abondante et une température comprise entre 17 °C et 45 °C sont les meilleures conditions de reproduction et de développement des moustiques. En effet, la configuration générale du relief de faible altitude (0-200 m) et l'abondante précipitation annuelle (1200-1700 mm) à la base de fréquentes inondations du fait des débordements des cours d'eau de leur lit sur plus de 500 m et de la formation de bas-fonds marécageux, l'existence d'une végétation qui crée de l'ombrage par endroit, constituent des biotopes favorables à l'épanouissement des moustiques à Chiépo. Ces résultats sont également en concordance avec ceux de [12], [11] et [13].

Par ailleurs, il ressort de l'étude que les comportements, le mode de vie et le faible niveau de connaissance prophylactique des populations, couplés avec le type d'activités socio-économiques, contribuent au développement des moustiques à travers la création des gîtes de reproduction, de repos et la disponibilité à courtes distances de leur repas sanguin. En effet, la sous-préfecture de Chiépo est une zone rurale où 90,5 % des enquêtés vivent dans les hameaux et les campements à moins de 2 km de gîtes potentiels de moustiques. Cette proximité s'explique par la nécessité de se rapprocher des lieux de productions agricoles que sont les bas-fonds, les cours d'eau, les aménagements hydro-agricoles, les zones forestières, etc. Il existe également le cas de la proximité des ménages (75 %) avec les sites de dépôt sauvage d'ordures ménagères situés généralement à moins de 10 m des habitations, du fait du manque de système d'assainissement dans la sous-préfecture. En outre, le rejet systématique des eaux grises dans les rues par la quasi-totalité des ménages (91 %) s'explique, d'une part, par le manque d'information des populations en matière d'assainissement et d'autre part, par le manque de moyens financiers en cas de besoin de construction de toilettes adéquates. Cette proximité d'avec ces matières résiduelles constitue un risque sanitaire pour les ménages riverains [14].

Tous ces cas de figures contribuent à accroître le contact moustiques-hommes donc favorise le raccourcissement du cycle gonotrophique (temps séparant deux pontes successives) du moustique. De ce fait, les populations sont exposées aux piqûres et aux nuisances sonores des moustiques pendant les heures de repos. Ce constat de proximité des populations des gîtes larvaires anthropiques (59 %) est le même dans la localité de Gagnoa, en Côte d'Ivoire [15].

5.2 ACTIVITÉS ANTHROPIQUES ET DIVERSIFICATIONS DES GÎTES LARVAIRES

Des trois types de gîtes recensés sur le terrain, les gîtes permanents sont les plus dominants (43 %). Cela s'explique par l'existence de conditions environnementales très favorables et par les habitudes des ménages (91 %) qui permettent une disponibilité de l'eau de façon permanente, aux nombres desquelles les eaux usées issues des ménages et des douches, les eaux de ruissellement des pompes villageoises, les eaux de consommation domestique stockées dans des jarres ou citernes (gros canaris en ciment) de 100 à 600 l.

En effet, la sous-préfecture de Chiépo étant une zone rurale où l'eau potable est difficilement disponible, les ménages (38 %) préfèrent constituer des réserves d'eau dans des citernes ouvertes qui deviennent des lieux de choix de ponte des œufs de moustiques du sous-genre *culicinae*. Ces résultats sont confirmés par plusieurs auteurs ([16], [10]) qui sont également arrivés à la conclusion que les jarres ou citernes avaient une production larvaire régulière sur toute l'année en zone rurale.

Des larves d'*Anophèles*, de *Culex* et d'*Aedes* ont été retrouvées dans les gîtes formés à proximité de certaines pompes villageoises, dans les localités de Kokpa et CFI. Ces constats sont similaires à ceux de [17] qui affirme que des conditions de vie « précaires », comme l'absence d'accès à l'eau courante et de raccordement à un réseau d'assainissement, sont favorables à la création de sites de pontes d'œufs de moustique et donc aux contacts entre le vecteur et la population.

5.3 RICHESSE SPÉCIFIQUE DES GÎTES LARVAIRES

Sur un total de 3754 larves récoltées, 47 % étaient des larves de *Culex*, 30 % d'*Anopheles* et 23 % d'*Aedes*. La diversité du milieu naturel et des comportements humains explique la variété des gîtes et de genres de moustique. La prédominance des larves de *Culex* peut s'expliquer par le fait que la plupart des gîtes larvaires productifs de cette zone étaient d'origine anthropique, avec la forte présence des eaux grises stagnantes dans des fosses à ciel ouvert ou ruisselant dans les ruelles. Cela est confirmé par les travaux de certains auteurs qui expliquent que le développement de certaines espèces du genre *Culex* est lié aux activités humaines : l'absence ou l'insuffisance des réseaux d'assainissement conduit à une importante augmentation des réservoirs d'eaux usées riches en matières organiques qui sont des lieux particulièrement favorables au développement des larves de *Culex* ([18], [19], [20]).

La faible proportion du genre de larves d'*Anophèles* récoltés dans les zones rurales peut être expliquée par le fait que les gîtes larvaires de cette zone ne réunissent pas toujours les conditions requises à son développement. Ce constat est différent des résultats d'études menées par bon nombre d'auteurs. En effet, [21] ont montré que le genre *Anopheles* est dominant en zones péri-urbaine et rurale ; [22] ont également trouvé, dans une étude menée sur l'île de Manoka (Cameroun), une fréquence élevée du genre *Anopheles* par rapport aux genres *Culex* et *Aedes*. Ils ont conclu que cette supériorité numérique des larves d'*Anophèle* serait la conséquence du caractère rural peu pollué du milieu.

Par contre, en zone rurale, la plus faible proportion d'*Aedes* par rapport au *Culex* et à l'*Anophèles* peut être liée au fait que ce genre de moustique se développe le plus souvent dans les zones urbaines où la population humaine est dense et les gîtes domestiques y sont pollués.

5.4 PRÉDOMINANCE DES LARVES DE CULEX

Les larves de *Culex* sont présentes dans 80 % des localités de la zone d'étude. Leur prédominance (47 %) quel que soit la nature du gîte, peut s'expliquer par leur ubiquité et leur plasticité. En fait, le *Culex* est défini comme étant un moustique ubiquiste, plastique et qui s'accommode à des gîtes larvaires variés. De par leur grande plasticité écologique, les larves de *Culex* se développent dans toutes sortes de récipients ou dépressions pouvant contenir de l'eau stagnante [23] et dans des gîtes permanents, semi-permanents et temporaires voire même éphémères [24]. Ces résultats sont conformes à ceux de [25] qui atteste que le nombre de moustiques du genre *Culex* récolté est supérieur aux autres genres de moustiques présents et le *Culex* est également identifié dans tous les gîtes prospectés.

Dans l'ensemble, les conditions de développement des larves de moustiques de la zone d'étude sont plus favorables dans la localité de Chiépo pour les larves du genre *Anophèles* et d'*Aedes*, tandis qu'elles le sont pour le genre *Culex* dans les localités de CFI et de Guiguidou.

6 CONCLUSION

L'Etude géographique menée dans la sous-préfecture de Chiépo atteste que les écosystèmes naturels, les comportements, le mode de vie et le faible niveau de connaissance prophylactique des populations, couplés avec le type d'activités socio-économiques, contribuent au développement des moustiques qui disposent de gîtes de reproduction, de repos et de la disponibilité à courtes distances de leur repas sanguin. Les gîtes de reproduction sont principalement de type permanent (42,9 %) et temporaires (37,4 %). Ces gîtes hébergent trois genres de larve de moustique à prédominance *Culex* (47%) présents dans 80 % des localités de la zone d'étude. Les localités à fortes densités larvaires sont Chiépo (*Anophèles* et *Aedes*), CFI et Guiguidou (*Culex*). De ces résultats, il ressort qu'il y a de fortes chances que la majorité de la population de la zone d'étude soit dans une situation de risques sanitaires si d'aventure les genres de moustiques qui y ont été identifiés comportent des espèces vectrices du paludisme. Cette situation concerne plus le village de Chiépo avec ses campements satellites où le plus grand nombre de larves d'*Anophèles* (52 %) y a été récolté. Ces données portant sur la connaissance des facteurs de développement des genres de moustiques de la zone d'étude peuvent contribuer à l'élaboration d'un programme ciblé de lutte anti-vectorielle dans la sous-préfecture de Chiépo et dans des régions similaires de la Côte d'Ivoire.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Dr Gilbert Fokou, sociologue au Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS), Dr San-Whouli Mauricette Ouali-N'goran et Dr Négnorogo Gindo-Coulibaly, entomologiste médicale à la faculté de Biosciences à l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, Dr Mouhamadou Chouaïbou, entomologiste médicale et chef de groupe de recherches au CSRS et M. Bli Konan Nestor Kessé, technicien de laboratoire en entomologie médicale au CSRS, pour leur soutien scientifique pendant la conduite de ces travaux. Nos remerciements vont également à l'endroit des communautés de la zone d'étude qui ont facilité la réalisation de cette étude par leur franche collaboration.

REFERENCES

- [1] OMS, Rapport sur les statistiques sanitaires dans le monde, Editions de l'OMS, Genève, 2012.
- [2] PNLP, Plan stratégique national de lutte contre le paludisme 2012-2015 révisé - Approche stratifiée de mise à échelle des interventions de lutte contre le paludisme en Côte d'Ivoire et consolidation des acquis, Ministère de la Santé et de la Lutte contre le SIDA, [En ligne] <https://www.ivoireabidjan.com/docpdf/planstrategique.pdf> 2014 (10 octobre 2017).
- [3] INS (Institut National de la Statistique), Recensement Général de la Population et de l'Habitat 2014 - Résultats globaux, 2014. [En ligne] <http://www.ins.ci/n/RESULTATS%20GLOBAUX.pdf> (10 Octobre 2017).
- [4] J.M. Kalms et A. Kesse, Opération Connaissance du Climat. Rapport Analytique, Bouaké, Institut des Savanes, 1977.
- [5] J.L. Guillaumet et E. Adjanohoun, La végétation. In: J.M. Avenard (Ed.) Le Milieu naturel de la Côte d'Ivoire, Paris, Mémoires ORSTOM, no 50, pp. 156-263, 1971.
- [6] G. Mangelot, « Etudes sur la forêt des plaines et plateaux de la Côte d'Ivoire ». Etudes Eburnéennes. I.F.A.N., tome 4, pp.5-61, 1955.
- [7] D. Gotteland et C. Haon, Développer un nouveau produit: méthodes et outils, Paris, Pearson Education, 2005.
- [8] J. Williams et J. Pinto, Training Manual on Malaria Entomology; For Entomology and Vector Control Technicians (Basic Level), Washington DC, USAID and RTI International, 2012.
- [9] A. Stefani, Epidémiologie du paludisme et environnement : étude de deux populations amérindiennes de l'est et de l'ouest guyanais, Thèse, Université des Antilles et de la Guyane, 2011
- [10] L. Jauze, S. Arnoux et L. Bagny, « Impacts des changements climatiques sur les arboviroses dans une île tropicale en développement (Mayotte) », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, vol.10, n°3, 2010. [En ligne] <http://vertigo.revues.org/10538>; DOI : 10.4000/vertigo.10538 (3 septembre 2016).
- [11] R.J.A. Assako, D. Bleye et F. Simarde, « Apports des sciences sociales et de l'entomologie dans l'analyse de l'endémicité du paludisme à HEVECAM, une agro-industrie du Sud Cameroun », Geo-Eco-Trop, vol.29, pp.101-114, 2005.
- [12] A.N. Betsi, E.S. Tchicaya et B.G. Koudou, « Forte prolifération de larves d'*An. gambiae* et *An. funestus* en milieux rizicoles irrigués et non irrigués dans la région forestière ouest de la Côte-d'Ivoire », Bull. Soc. Pathol. Exot., vol.105, n°3, pp.220-229, 2012
- [13] E. Seguy (Ed), La vie des mouches et des moustiques, Editions Delagrave, Paris, 1947.
- [14] S. Kientga, Contribution du SIG à l'analyse des liens déchets-santé en milieu urbain dans les pays en développement. Cas de deux secteurs de la ville d'Ouagadougou, Burkina Faso, Thèse, Ecole polytechnique fédérale Lausanne, Suisse, 2008.
- [15] E. Tia, G.Y. Yapi, M.A.O. Boby, M. Koné, S. Diabaté, C.M.J. Doannio et K. Kadjo, « Enquête sur l'état de santé et des conditions de travail des riziculteurs des bas-fonds de la région de Gagnoa en Côte d'Ivoire, CEMV-Université Alassane Ouattara de Bouaké, Côte d'Ivoire », Agronomie Africaine, vol.25, n°3, pp.321-332, 2013.

- [16] E. Tia, N. Gbalégba, R. M'Bra, A. Kaba, A.M Bobby, M. Koné, M. Chouaibou, B. Koné et G.B. Koudou « Étude du niveau de production larvaire d'*Anopheles gambiae* s.l. dans différents types de gîtes à Oussou-yaokro au Centre-Ouest et à Korhogo Côte d'Ivoire », *Journal of Applied Biosciences*, vol.105, pp.10170-10182, 2016.
- [17] C. Goislard, Les répulsifs anti-moustiques à l'officine, Thèse, Université d'Angers, 2012.
- [18] T. Baldett, Etude comparative de deux stratégies de lutte contre *Culex quinquefasciatus* Say, 1923 par *Bacillus Sphaericus* Neide, 1904 dans la ville de Maroua (Nord Cameroun), Thèse, Montpellier II, 1995.
- [19] C.F. Curtis et R. Feachem, « Sanitation and culex pipiens mosquitoes : a brief review », *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, vol.84, pp.17-25, 1981.
- [20] R. Subra et G. Hebrard, « Ecologie larvaire de *Culex pipiens fatigans* Wiedemann, 1828 (Diptera : Culicidae) dans une Zone de Haute Endémie Filarienne (Mayotte, archipel des Comores) », *Tropenmed. Parasitol.* vol.26, pp.48-59, 1975.
- [21] C. Kamdem, B. Tene, F. Simard, J. Etouna, C. Ndo, P. Kengne et al., « Anthropogenic habitat disturbance and ecological divergence between incipient species of the malaria mosquito *Anopheles gambiae* ». *PLoS ONE*, vol.7, n°6, e39453. [En ligne], <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039453> (23 juin 2017).
- [22] A. Mbida Mbida, J. Etang, P. Akono Ntonga et al., « Nouvel aperçu sur l'écologie larvaire d'*Anopheles coluzzii* Coetzee et Wilkerson, 2013, dans l'estuaire du Wouri, littoral-Cameroun », *Bull. Soc. Pathol. Exot.*, vol.110, n°2, pp.92-101, 2017.
- [23] J.P. Mas, « Les moustiques et leurs biotopes », *Ann. Soc. Sci. nat. Charente maritime, Suppl.* Janvier, pp.153-159, 1977.
- [24] B. Trari, *CULICIDAE (DIPTERA): Catalogue raisonné des peuplements du Maroc et études typologiques de quelques gîtes du Gharb et de leurs communautés larvaires*. Thèse 3ème Cycle. Université Mohammed V, Rabat, 1991.
- [25] I. Merabti, Identification, composition et structure des populations Culicidiennes de la région de Biskra (Sud-est Algérien). Effets des facteurs écologiques sur l'abondance saisonnière. Essais de lutte, Université Kasdi Merbah-Ouargla, Thèse, 2016.

Nitrogen and Phosphorus Optimization and Agronomic Nutrient Use Efficiency for Improved Wheat Performance

Josephine Nakanwagi¹, John S Tenywa¹, Stephen Wobibi², Arthur Wasukira², William W. Wagoire³, Janice Nakamya¹, Dennis Beesigamukama¹, and Wilberforce Wodada⁴

¹Department of Agricultural Production, College of Agricultural and Environmental Sciences, Makerere University, P.O. Box 7062, Kampala, Uganda

²Buginyanya Zonal Agricultural Research and Development Institute, P. O BOX 1356, Mbale, Uganda

³National Coffee Research Institute P.O BOX 895, Mukono, Uganda

⁴International Institute for Tropical Agriculture P.O BOX 7878, Kampala, Uganda

Copyright © 2019 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 was carried out to determine the optimum nitrogen and phosphorus rates for achieving optimum yields and nutrient use efficiency for wheat in highlands of Eastern Uganda. An on station randomized complete block design experiment was conducted at Buginyanya Zonal Agricultural Research and Development Institute. Two varieties Fahari and Pasa were treated with four levels of nitrogen (0, 30, 60, & 90 kg ha⁻¹) and three levels of phosphorus (0, 7.5 & 15 kg ha⁻¹). The fertilizer treatments were each replicated three times. The highest grain yield of Pasa and Fahari was 3211 kg ha⁻¹, 2726 kg ha⁻¹ respectively obtained at a nutrient combination of 60 kg N ha⁻¹ and 15 kg P ha⁻¹. The same nutrient combination resulted into highest number of tillers: (Pasa 4 and Fahari 5), kernel per spike of 40 for Pasa and 32 for Fahari. Maximum total kernel weight, spike length and plant height were obtained at 90 kg N ha⁻¹ and 7.5 kg P ha⁻¹ nutrient combinations. Pasa produced a significantly higher Agronomic Nitrogen Use Efficiency and Agronomic Phosphorus Use Efficiency obtained at 30 kg N ha⁻¹ and 7.5 kg P ha⁻¹ nutrient combinations, compared to Fahari at the same N and P rates. Optimum N and P fertilizer combination for best grain yield of both wheat varieties tested is 60 kg N ha⁻¹ and 15 kg P ha⁻¹ combinations.

KEYWORDS: Fahari, grain yield, Pasa, Tillers, bread wheat, Uganda.

1 BACKGROUND

Wheat (*Triticum aestivum*. L), is globally the third most important cereal after maize and rice and the most important cereal of the temperate regions [1]. In sub Saharan Africa, wheat is increasingly becoming a valued grain among the cereals, this is particularly true in East and Central Africa [2]. As a food crop, it is majorly eaten as bread, chapatti, macaroni, spaghetti and other confectionaries. Wheat is adapted to highlands of southwestern and on slopes of Mt. Elgon in the east [3]. It is grown under rain fed conditions in areas at an altitude of 1,500-3,000 metres above sea level with a bimodal pattern of rainfall receiving on average 477 mm of rain fall with relative humidity of 64%. Sustained soil fertility management is an important factor in increasing wheat productivity but this is still a challenge especially in Sub-Saharan Africa [4]. Uganda doubles as one with the highest soil nutrient depletion rates and lowest annual inorganic fertilizer application rate in the world at only 1.8 kg ha⁻¹ [5]. Major highland areas where wheat is grown; Mt. Elgon in the East, south west in Kigezi sub-region and Mt. Rwenzori are prone to high soil degradation. Consequently, these areas are characterized by low fertility accruing from high soil nutrient and water losses with events of land slides and flooding [6]. Reversing the situation requires replenishing the soil using strategies that optimize and increase nutrient use efficiency for wheat productivity. Uganda's demand for wheat is higher than its supply and hence largely depends on imports since, wheat farmers are few and face a number of challenges among which

is soil fertility management. Currently, Uganda's wheat production is at 20,000t on 14,000ha with productivity of 1.43t ha⁻¹ mainly on small plots of 0.1 to 6.5 ha [7]. This is far below the expected global average of 3t ha⁻¹ [7]. Furthermore, low soil N and P are becoming of major concerns in wheat production and productivity [8]. With the current practices of continuous cropping systems with little or no soil replenishment, wheat yields are likely to decline. N and P use and management is vital in improving grain yield and their deficiency can significantly limit crop growth and subsequent returns. However, knowledge gaps still exist on optimum N and P rates and efficiency of fertilizer use for wheat in Uganda [9]. Therefore, this study was perceived to determine the optimum N and P rates for achieving best yields and nutrient use efficiency for wheat in highlands of Eastern Uganda.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 DESIGN OF EXPERIMENT

A field experiment was conducted in 1st season from October to January 2013 to 2nd season from March to June 2014 on wheat varieties grown in Uganda. The wheat was grown at Buginyanya Zonal Agricultural Research and Development Institute (BugiZARDI) and soils in the study site were sandy clay loam. Four levels of nitrogen (0, 30, 60 & 90 kg N) and three levels of phosphorus (0, 7.5 & 15 kg P) were applied in form of urea and triple super phosphate. All the phosphorus was applied at planting and nitrogen was applied in two splits of half doses: one at planting and the other at about 28 days prior to stem elongation (Zadoks 30) [10]. Plot size was 5 m by 3 m with inter-row spacing of 0.3 m and continuous within row spacing. The experiment was laid out in a randomized complete block design (RCBD) with three replicates. Wheat varieties; Pasa - a hybrid and Fahari - a local check with a seed rate of 120 kg ha⁻¹ were sown in eleven rows on 5th of October for first season and 24th March for second season. The crop management practices mainly included; weeding which was done twice for the two seasons.

2.2 PLANT SAMPLING AND DATA COLLECTION

2.2.1 NUMBER OF TILLERS PER PLANT, FLAG LEAF AREAS (CM²) AND PLANT HEIGHT

Five plants were sampled from each plot leaving out one border row on each side of the plot, then number of tillers was counted and recorded. The values were added and divided by five to get the average number of tillers per plant at flowerings which were used in statistical analysis.

Flag leaf area was recorded at 50% flowering using a tape measure by selecting in situ five plants leaving out one border row on each side of the plot. Flag leaf is the upper most leaf of the wheat plant that contributes 75% of grain filling in wheat through the process of photosynthesis [11]. Measurements included leaf length from the apex to the inflorescence base and leaf width across the widest part of the leaf. Length and width were multiplied to approximate leaf area. The values were averaged to get the average leaf area for each plot and data used in subsequent statistical analysis.

Plant height was recorded at ripening stage when the kernel was hard and difficult to divide by selecting in situ five plants from each plot leaving out one border row on each side of the plot. Measurements were done in centimeters using a tape measure from ground level to the spike top and values were averaged per plot for subsequent statistical analysis as described by [12].

2.2.2 SPIKE LENGTH, TOTAL KERNEL WEIGHT, KERNEL PER SPIKE AND GRAIN YIELD:

At physiological maturity when the grain reached maximum dry weight and the peduncles were ripe, five spikes were selected per plot and harvested for data collection. These were weighed to get the total kernel weight using an electronic scale (model specification EKO1). Spike length was measured using a tape measure. Each spike was threshed using hands and counting of the kernels was done. Values of each parameter were averaged per plot for subsequent statistical analysis.

Harvesting was done at harvest maturity when the kernel was hard, could not be dented by a thumb nail and all the glumes were dry. Grain yield (kg ha⁻¹) was recorded for nine rows (12 m²). Spikes harvested from each plot were weighed using a spring balance before threshing. Threshing was done manually to get grains, which were further sun-dried to moisture content of 12.5% and then weighed again using a digital scale as described by [13].

2.2.3 NUTRIENT USE EFFICIENCY CALCULATIONS

Nutrient agronomic efficiency (AE) at different fertilizer rates was computed as described by [14];

$$AE = \frac{(Y - Y_0)}{F} \quad (\text{Equation 1})$$

Where: Y = yield from treated plot (kg ha^{-1}); Y_0 = yield from control plot (kg ha^{-1}) and F = amount of fertilizer applied (kg ha^{-1})

2.3 DATA ANALYSIS

The data was subjected to one way analysis of variance (ANOVA) test using Gen Stat Edition 12. Significant means were separated using Least Significance Difference (LSD) at 5% significance level.

3 RESULTS

3.1 EFFECT OF N AND P ON THE GROWTH AND YIELD PARAMETERS OF FAHARI AND PASA BREAD WHEAT VARIETIES

3.1.1 NUMBER OF TILLERS PER PLANT, FLAG LEAF AREA (cm^2) AND PLANT HEIGHT

Application of N and P had no significant effect ($P > 0.05$) on leaf area of Fahari and Pasa varieties at 50% flowering (Table I) but the effects were significant ($P < 0.05$) at tillering and on plant height. (Fig. 1 & 2) (Table I). Interactive application of 60 N and 15 P kg ha^{-1} increased tillering up to a peak of five and four tillers per plant for Fahari and Pasa respectively. Beyond the peak point, tillering responded negatively especially at the highest N and P application rates. Overall, the 60N rate emerged superior when combined with 15 kg of P ha^{-1} for Fahari and either 7.5 or 15 kg P ha^{-1} for Pasa at the same N rate. Plant height continuously increased up to maximum of 91.9 and 86.3 cm which was obtained at 90 and 90N-7.5P kg ha^{-1} for Fahari and Pasa respectively. The plant height of Fahari was higher than that of Pasa and all plant heights were significantly different from the control treatment apart from at 0N and 7.5P and 0N and 15P kg ha^{-1} for all the two varieties.

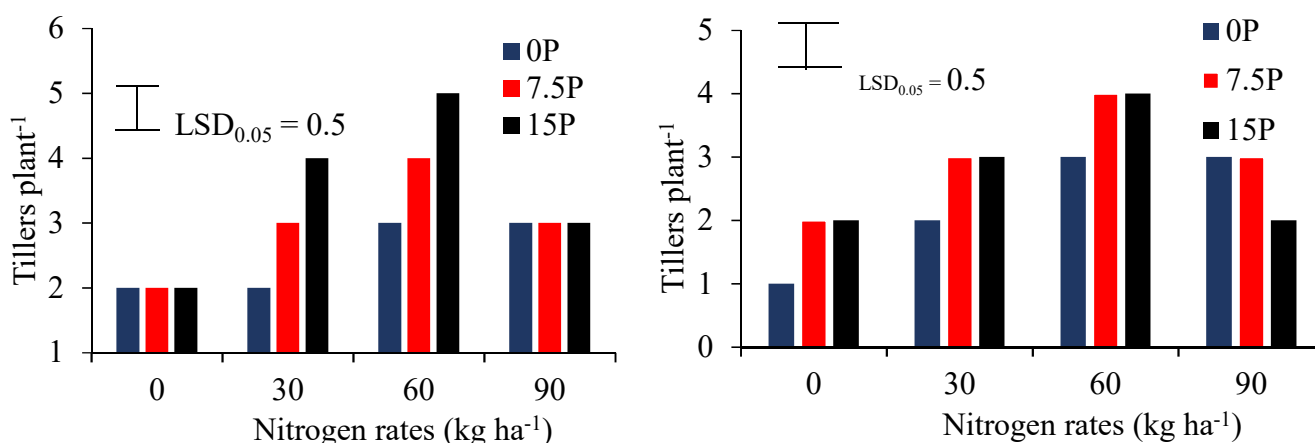


Fig. 1& 2 Interactive effect of N and P rates on number of tillers of Fahari and Pasa bread wheat varieties at 50% flowering at BugizARDI in Eastern highlands of Uganda

3.1.2 SPIKE LENGTH, TOTAL KERNEL WEIGHT, KERNEL PER SPIKE AND GRAIN YIELD

Application of N and P had a significant ($P < 0.05$) effect on plant spike length, total kernel weight, kernel per spike and grain yield of Fahari and Pasa varieties (Fig 3 & 4), (Table I). Spike length for the two varieties continuously increased at a marginal rate, with increase in N and P combinations up to a maximum of 9.3 and 8.7 cm at 90 N and 7.5 kg ha^{-1} for Fahari and Pasa. Application of 30 and 60 kg N ha^{-1} resulted into significant increase in spike length of both varieties at all P rates when compared with control treatments. Total kernel weight of Fahari and Pasa increased with increase in N and P up to a maximum of 1.85 and 2.4 g. Application of 15 kg P ha^{-1} at 0 kg N ha^{-1} resulted into a substantial increase in TKW, though further increase in N did not show much effect until at 90 N with 7.5 P kg ha^{-1} , where TKW reached the peak for both varieties. Although the effect of P was marginal, that of N was marked within the N and P combinations for for both varieties on KPS. The 60 kg N ha^{-1} significantly ($P < 0.05$) increased KPS up to maximum of 32 and 40 at 15 than 7.5 kg P ha^{-1} for Fahari and Pasa respectively. Grain yield increased up to a maximum and then reduced, though response with 0 P was quiet variable for all N rates. The 7.5 kg P ha^{-1} caused a significant spike in yield, which was statistically similar to that of 15 kg P ha^{-1} at 0 N, for Pasa. On the other

hand, 15 kg P ha⁻¹ caused a significant increase in yield, which was significantly different from 7.5 kg P ha⁻¹ for Fahari. Interactive application of the nutrients caused a remarkable increase in yield at 60 N and 15 P kg ha⁻¹, which was significantly different from 7.5 kg P ha⁻¹ at the same N rate. The highest N rate (90 kg ha⁻¹) showed no significant difference for all P rates but depressed grain yield at 15 kg P ha⁻¹.

Table 1. Effect of N and P on growth and yield parameters of Fahari and Pasa bread wheat varieties

Varieties	Nitrogen (kg ha ⁻¹)	Phosphorus (kg ha ⁻¹)	Leaf area (cm ²)	Plant height (cm)	Total kernel weight (g)	Spike length (cm)	Kernel spike ⁻¹
Fahari	0	0	16.5	70	1.043	7.08	19
		7.5	19	76.8	1.207	7.457	21
		15	20.5	80.7	1.278	7.703	25
	30	0	23.9	82.3	1.352	7.817	26
		7.5	25	83.6	1.502	7.945	26
		15	27.9	86.7	1.453	8.162	28
	60	0	28.3	84	1.515	8.273	28
		7.5	32	89.2	1.645	8.32	30
		15	34.7	90.9	1.633	8.687	32
	90	0	28.5	91.9	1.732	8.697	28
		7.5	27.8	91.5	1.852	9.277	28
		15	28.9	90.5	1.788	8.593	28
	LSD		ns	11.9	0.24	0.6	3
	CV%		46.3	12.2	13.6	6.6	10.1
Pasa	0	0	20.8	70.07	1.186	6.593	25
		7.5	22.3	72.47	1.325	7	27
		15	25.6	76.53	1.453	7.223	28
	30	0	29.3	77.6	1.617	7.543	32
		7.5	29.5	78.6	1.723	7.82	33
		15	31.7	78.53	1.737	7.923	34
	60	0	31.7	80.03	1.807	7.998	35
		7.5	35.7	83.1	1.842	8.08	36
		15	37.9	85.13	1.863	8.353	40
	90	0	33.2	85.87	2	8.24	36
		7.5	33.9	86.27	2.408	8.658	35
		15	33.6	82.45	1.975	8.127	36
	LSD		ns	7.7	0.2	0.94	6
	CV%		43.3	8.4	11.2	10.4	14.7

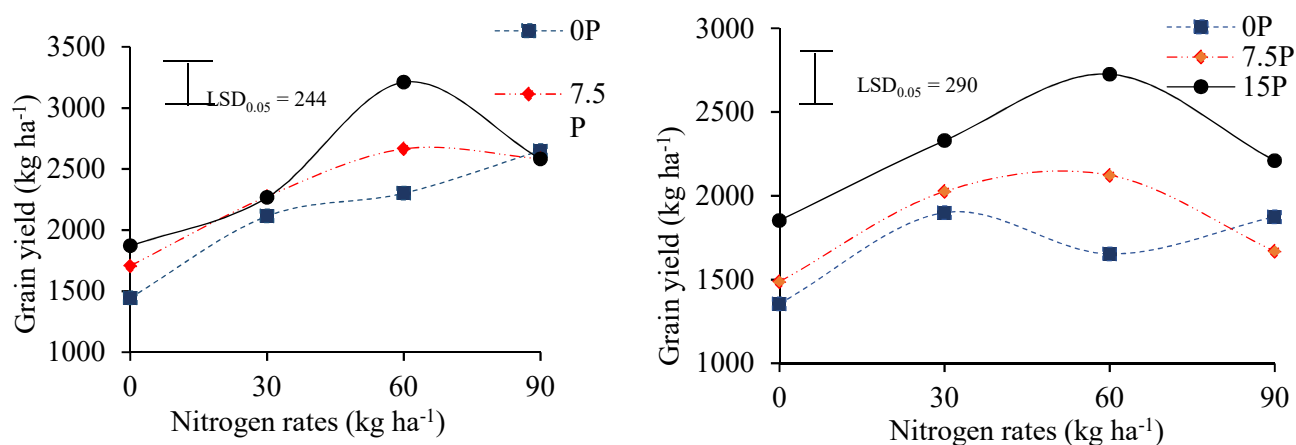


Fig. 3 & 4 Interactive effect of N and P rates on grain yield of Fahari and Pasa varieties at BugiZARDI in Eastern Highlands of Uganda

3.2 AGRONOMIC NITROGEN USE EFFICIENCY

The unit increase in grain yield per unit of nitrogen applied (agronomic nitrogen use efficiency) (AE_N) of Fahari and Pasa UW400 bread wheat varieties was significantly influenced ($P < 0.05$) by amount of N applied (Table 3). AE_N decreased with increase in N application and reaching a peak at 30 kg N ha⁻¹ for both varieties. Increasing N to 60 kg ha⁻¹ resulted into a lower value, which was significantly different from that obtained at 30 kg N ha⁻¹ for both varieties. A higher rate of N (90 kg N ha⁻¹) further decreased AE_N which was significantly different from that obtained at 60 kg N ha⁻¹.

3.3 AGRONOMIC PHOSPHORUS USE EFFICIENCY

The unit increase in grain yield per unit of phosphorus applied (agronomic phosphorus use efficiency) (AE_P) of Fahari and Pasa was significantly influenced ($P < 0.05$) by application of P (Table 2). Generally, AE_P increased up to a maximum then reduced. The highest AE_P was attained at 7.5 kg P ha⁻¹ for both varieties. Increasing P to 15 kg P ha⁻¹ resulted into a substantial decrease of 40% in AE_P for Pasa. However, Fahari showed no significant decrease in AE_P at 7.5 and 15 kg P ha⁻¹.

Table 2. Agronomic nitrogen and phosphorus efficiencies of bread wheat varieties in the highlands of Eastern Uganda

n = 216

Agronomic Nitrogen use Efficiency (kg kg ⁻¹)						
Varieties	Nitrogen rates (kg ha ⁻¹)				LSD _{0.05}	CV%
	0	30	60	90		
Fahari	0	24.3*	14.5*	6.7*	4.4	20.0
Pasa	0	25.8*	21.4*	12.9*	4.1	4.3
Agronomic Phosphorus Use Efficiency (kg kg ⁻¹)						
Varieties	Phosphorus rates (kg ha ⁻¹)			LSD _{0.05}	CV%	
	0	7.5	15			
Fahari	0	62.7ns	61.6ns	16.3	17.6	
Pasa	0	115.1*	69.2*	22.6	14.4	

*significant at $P < 0.05$ from each other for comparisons along the rows, ns- not significant at $P < 0.05$

4 DISCUSSION

4.1 EFFECT OF N AND P ON THE GROWTH AND YIELD PARAMETERS OF FAHARI AND PASA BREAD WHEAT VARIETIES

4.1.1 NUMBER OF TILLERS PER PLANT AND PLANT HEIGHT

The significant effects of N and P on the number of tillers per plant, irrespective of varieties (Fig. 1 & 2), is evidence that these nutrients were deficient in the study soil. The effect of N on tiller development in wheat, has not been quiet visible as has been the case with rice. The physiological effect of N in regulating rice tiller development is rooted in the fact that external N application suppresses indole-3-acetic acid (IAA) the latter of which suppresses tiller development [15]. On the other hand, [16] asserted that enhanced tillering in wheat was due to the positive effect of N application on the biosynthesis of cytokinins induced particularly by application of ammonium-N, such liberal provision of N to wheat is necessary at the experimental site in order to achieve maximum tillering.

With respect to P, the positive effect on tiller development across varieties has been documented. For instance, [17] reported marked increase in wheat tiller emergency, survival and yield as a result of P application. A similar observation was made earlier when P deficiency decreased the maximum and final number of tillers in wheat [18], [19]. Therefore, research efforts geared at synchronizing the synergistic benefits from N and P management are needed particularly for production of wheat in Uganda. There was no change in tillering when P was applied without N, for Fahari. This indicates that Pasa is more sensitive to the single effect of P than Fahari. The non- response to P observed from Fahari variety may be attributed to insufficient P levels that were applied. According to [20] while working on wheat, P deficiency reduced maximum rate of tiller emergency by increasing phyllochron.

The occurrence of the maximum tillering of both varieties at 60 N and 15 P, implies that those are the optimum levels of nutrient supply to wheat in the study area. Tillering has been linked variously to grain yield for different research on wheat [21], [22]. With respect to plant nutrition, high N and P application rates suppressed number of tillers probably due to reduced

number of nodes. Reference [23] while working on wheat, reported that high N produces tall and succulent culms and increases the length of basal internodes, which contribute to lodging.

The significant effect of simultaneous application of N and P on plant height of Fahari and Pasa wheat varieties, indicates that application of the two nutrients plays an important role in plant growth. The plant height of Fahari was higher than that of Pasa, this is because Fahari is a tall variety while Pasa belongs to the dwarf category, according to the breeder's characterization [24]. The response of plant height to N and P was at variance with that of tillering. Whereas the maximum of tillering was obtained at 60 N and 15 kg ha⁻¹, that of plant height was at 90 N and 7.5 P kg ha⁻¹. This implies that the plant requires more N to sustain plant growth in terms of plant height than tillering. The reduction of P requirement for plant height shows that a lower amount of P is required for reaching maximum plant height. These findings are similar to what was reported by [25], where application of N significantly increased plant height up to maximum.

4.1.2 SPIKE LENGTH, TOTAL KERNEL WEIGHT, KERNEL PER SPIKE AND GRAIN YIELD

The significant effect of N and P on spike length of Fahari and Pasa wheat varieties, indicates the importance of those nutrients on increasing crop biomass of the two varieties. The marginal rate of increased in spike length when fed with N and P suggests that, large amounts of nutrients are required to cause substantial increase in spike length. The maximum spike length obtained at 90 N and 7.5 P kg ha⁻¹ shows that those are the rates for achieving peak spike length. These results are similar to what has been observed under plant height, where maximum plant height was also obtained at the same rates of N and P. These findings are similar to what was reported by [26], [27]), where spike length was significantly influenced by N nutrition in the soil.

The significant effect of N and P on total kernel weight (TKW) of Fahari and Pasa implies that increased nutrition influences grain yield. This is so because a strong relationship has been variously reported between total kernel weight and grain yield [28] [29]. The TKW of Pasa was higher than that of the local check variety Fahari, which shows that Pasa is more superior TKW than Fahari. The response of TKW to N and P nutrition was similar to that of plant height and spike length but, at variance with that of tillering. Whereas, the optimum tillering was achieved at 60N and 15P kg ha⁻¹, the optimum point for TKW was attained at 90 N kg ha⁻¹ and 7.5 P kg ha⁻¹ for both varieties. This could be explained by the fact that, for the plant to be able to satisfy the nutrient needs during seed development, greater nutrient supplies are required to cater for both post flowering vegetative growth and ultimate grain yield. For the grain to develop to full capacity, the green parts of the plant had to continue with the necessary demand for nutrients as well, hence resulting into better TKW performance at 90 kg N ha⁻¹ than at 60 kg N ha⁻¹.

On the other hand, the revers trend in relation to P nutrition, at both stages of growth, is difficult to explain within the scope of this study. Nevertheless, it can be speculated that at the time of TKW assessment, the P requirement by the plant had dropped dramatically basing on the school of thought that by the time a plant attains 25% of its biomass, it is supposed to have acquired 75% of its P requirement [30]. Therefore, at the TKW stage of growth, the crop is expected to be largely dependent on its internal P sources. This submission requires empirical investigation, as it bears on the nutrient acquisition and remobilization ability of Fahari and Pasa. It has been reported that, N and P improves growth of awns and the grain filling process, all which contribute to TKW. For instance, [31], while working on wheat in Pakistan, reported that TKW responded positively to N and P application.

The significant response of Fahari and Pasa bread wheat varieties (Table I) in terms of kernels per spike (KPS) when fed with N and P is evidence that, fertilizer use is technically beneficial particularly in increasing kernel numbers. Number of kernels per spike is an important trait in yield assessment by wheat breeders [32] [33]. On the other hand, contrasting results are also often evident when total grain yield is dependent on number of kernels as well as their sizes, and sometimes shapes [34]. In terms of N and P nutrition, the greater response to N by both varieties, seems to imply that N was more limiting to growth than P. [35] in Pakistan, reported that application of different rates of N to the soil significantly affected KPS of newly evolved wheat cultivars. Maximum KPS was obtained at 60 N and 15 P kg ha⁻¹, suggesting that this is the optimal nutrient combination.

The significant effect of N and P combinations on grain yield of the two wheat varieties (Fig 3 and 4), shows the role of translocation of assimilates from vegetative parts into grain, which reflects on the grain filling abilities of the two varieties. Increasing soil N supply increases leaf area, leading to enhanced photosynthesis, which results into higher grain yield. Like in the case of number of tillers and kernels per spike (Fig. 1 and 2), (Table I), the maximum grain yield was obtained with 60 N and 15 P kg ha⁻¹ for both the study varieties. This, apart from conforming to the close bio-physiological relationships among the three parameters as alluded to by [36], [33], implies that they constitute the optimum combination that should be recommended to the wheat farming communities in Eastern Uganda. However, this level of performance of the nutrient combination requires systematic economic evaluation before they are considered as recommendations to farmers. These findings are contrary to what was earlier reported in the present study under number of tillers per plant, where Fahari emerged superior of the two varieties. This implies that, a variety having a high number of tillers per plant does not certainly result into

more grain yield. According to [37], while working on Inqlab-91 wheat variety in Pakistan, application of P significantly increased grain yield.

Higher N rates with P combinations depressed grain yield presumably due to increased vegetative growth which was observed in the total dry matter yield of this study. Increasing N beyond optimal depresses grain yield due to toxicity or deficiency of another nutrient, which affects phyto-hormonal concentration, thus resulting into reduced grain yield. Correspondingly, [38] observed that high levels of N resulted into productivity of more leaves and their persistence because of having high amounts of current photosynthesis which decreased amount of redistribution. In light of the above results, Pasa is a high yielding variety which should be multiplied and disseminated to farmers. However, there is need for further studies on economic returns of using fertilizer N and P combination and resistance to rust diseases (Ug99) which is of major concern in Uganda.

4.2 AGRONOMIC NITROGEN USE EFFICIENCY

The significance of N as reflected by the agronomic nitrogen use efficiency (AE_N) in the two study wheat varieties of Fahari and Pasa (Table II), shows that the status of N in the soil prior to its application, was low. Generally, Pasa had the highest AE_N , while Fahari had the lowest value. With N application rates greater than 30 kg ha⁻¹, Fahari and Pasa varieties maintained significantly different AE_N values while UW400 showed no response. The continued presence of significant responses to N application beyond 30 kg ha⁻¹ for Fahari and Pasa, could be due to uniqueness in their genetic composition. It could also be due to differences in root architecture [39], with them having better developed rooting systems that were able to capture nitrogen from a bigger volume of soil. Values of AE_N in the current study were lower than those reported by [40],[41] who worked on wheat and maize in India and Uganda respectively. On the other hand, these values are within expected values >25 kg ha⁻¹ for well managed systems or at low soil N supply as observed by [42]. This implies that N in the study site was low and for higher efficiencies, N precision management is a requisite.

4.3 AGRONOMIC PHOSPHORUS USE EFFICIENCY

The significant effect of P on the agronomic phosphorus efficiency (AE_P) of Fahari and Pasa (Table II), shows that those varieties are able to utilize given unit amount of P into grain yield. The most important P is the plant available P, which affects how a plant responds to fertilizer P. In the tropics, there are moderate to high P-fixing soils which have low P content [43]. Therefore, targeting fertilizer application at rates that optimize its use efficiency is very essential, especially with limited P deposits. Considering the study site, the pH (5.95) was within suitable range for wheat production and organic carbon (3.81) was high which contributed to P availability in the experimental site. Application of N can increase P uptake in plants by increasing root growth, ability of roots to absorb and translocate P, and by decreasing soil pH as a result of absorption of NH_4^+ and thus increasing solubility of fertilizer P. This phenomenon also applies in this current study because application of P was done simultaneously with N. In study done by [44], the wheat root system may be able to use nutrients at a depth of 120 cm and use of varieties with greater capacity for nutrient use contribute to increase in nutrient uptake and thus high yields. Likewise, [45] reported that grain P uptake by wheat is a function of yield rather than changes in grain P concentration.

The highest AE_P was attained at a low rate of 7.5 kg P ha⁻¹ for both varieties, this suggests that both varieties perform better (more efficient) under low levels of P. This can be attributed to their genetic capacities in P utilization, environmental and management factors (e.g. temperature). In a previous study done by [46] on wheat in Mexico, the yield increasing effect of the dwarfing genes led to improved phosphorus utilization efficiency and total uptake. AE_P in this study could have been influenced by the dwarfing genes and since Pasa belongs to the semi dwarf category, that recorded high AE_P . On the contrary, [47] reported that having a high AE_P does not always mean efficiency, but rather positive efficiency would indicate that a variety has proportionally more grain yield than P content. This means that determining AE_P is not enough to convincingly tell that a variety is efficient but, rather there is need to determine nutrient recovery and physiological efficiencies. Results in this present study are higher than what was reported by [48] in a study done in Kenya on maize, where AE_P ranged from 20 to 40 kg kg⁻¹. This shows that, nutrient efficiency highly varies with different environments.

5 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

From this work, soft wheat varieties perform best with application of 60 kg N and 15 kg P ha⁻¹ in the highlands of Eastern Uganda. However, it is recommended that field trials are conducted to verify these on station results, and the associated economic viability before they are scaled out to the farming communities. In terms of wheat varieties, Pasa was the most responsive to fertilizer N and P, giving the highest grain yields at 60 kg N and 15 kg P ha⁻¹. This variety should be multiplied and

together with the fertilizer combinations disseminated to farmers involved in wheat production. Pasa is able to give reasonable yields under low N (30 kg N ha⁻¹). Therefore, it is recommended for the low N input systems including the small scale wheat growers in the region, with low P. However, it is important that recovery and physiological efficiencies of these varieties are determined to be able to conclude which of them is more efficient.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank Buginyanya Zonal Agricultural Research and Development Institute for their support during the field work. National Agricultural Research Organization through the Eastern Africa Agricultural Productivity Project for funding all the research activities.

REFERENCES

- [1] World Crops Database, (On line) available: <http://world-crops.com/wheat>. Accessed on 29th October, 2013, 2012.
- [2] Jayne T.S, Anriques G and Collier E, Africa agriculture towards 2030: Changes in urbanization and agricultural land dynamics and their implications for CGIAR research." (On line) available: www.sciencecouncil.cgiar.org. Accessed 27th March, 2014, 2010.
- [3] Wasukira A, Wagoire W.W, Chemayek B, Wobibi S and Lukwago G, Revamping Wheat Production in Uganda. (On line) available: <https://www.slideshare.net/CIMMYT/uganda-arthur-wasukirarevampingwheatproductioninuganda>. Accessed on 14th of August, 2018, 2012.
- [4] Ebanyat P, A road to food? : efficacy of nutrient management options targeted to heterogeneous soils in the Teso farming system, Uganda. s.n.]. [Online] available: <http://www.narcis.nl/publication/RecordID/oai%3Alibrary.wur.nl%3Awurpubs%2F383391>, 2009.
- [5] Namazzi J. Use of inorganic fertilizers in Uganda. International Food Policy Research Institute. (On line) available: <http://www.ifpri.org/publication/use-inorganic-fertilizers-uganda>, 2008.
- [6] Chemayek B, Wasukira A, Wobibi S. and Wagoire W. W. Soil fertility management for improved wheat production in Uganda. Book of abstracts, pp. 92. Wheat for food security in Africa conference. October 8-12, 2012 Addis Ababa, Ethiopia, 2012.
- [7] CIMMYT, International Maize and Wheat Improvement Center Wheat Atlas: Wheat production and use [Online] available: wheatatlas.org/country/production/UGA/0, FAO last updated on 16th August, 2013, 2013.
- [8] Bua B, The Future of Wheat Production in Uganda: Challenges and Prospects. Book of Abstracts, pp. 91. Wheat for food security in Africa conference. October 8th -12th, 2012 Addis Ababa, Ethiopia, 2012.
- [9] Bayite S.K, Knowledge gaps, profitability, subsidy and implications of a national policy. Brief on Inorganic fertilizer in Uganda. International Food Policy Research Institute. [Online] available: <https://www.ifpri.org/publication/inorganic-fertilizer-Uganda>. Accessed 14th August, 2018, 2009.
- [10] Pask, A.J.D Determining key developmental stages: In Physiological Breeding II: A Field Guide to Wheat Phenotyping by Pask, A. J. D., Pietragalla, J., Mullan, D. M. & Reynolds, MP. (Eds.) (2012). Mexico, D.F.: CIMMYT, 2012.
- [11] Duveiller E, Singh R.P and Nicol J.M, The challenges of maintaining wheat productivity: pests, diseases, and potential epidemics. Euphytica, vol. 157, pp. 417-430. doi:10.1007/s10681-007-9380-z, 2007.
- [12] Ibrahim Y.M and Mahgoub A.G., Evaluation of wheat growth under different fertilizer type, application and doses at Northern State of Sudan. Journal of Agriculture and Environmental Sciences, vol 3, No. 1, pp.173-180, 2014.
- [13] Haileselassie B, Habte D, Haileselassie M and Gebremeskel G, Effects of mineral nitrogen and phosphorus fertilizers on yield and nutrient utilization of bread wheat (*Triticum aestivum*) on the sandy soils of Hawzen District , Northern Ethiopia. Agriculture, Forestry and Fisheries, vol. 3, No. 3, pp.189-198. doi:10.11648/j.aff.20140303.18, 2014.
- [14] Baligar V.C, Fageria N.K and He L.Z, Nutrient use Efficiency in plants. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2001.
- [15] Peng S, Khush G.S and Cassman K.G, Evolution of the new plant ideotype for increased yield potential: In Cassman K.G (ed). Breaking the yield barrier. Proceedings of a workshop on rice yield potential in favourable environments. International Rice Research Institute Philippines, pp. 5-20, 1994.
- [16] Wang X, Below F.E., Cytokinins in Enhanced growth and tillering of wheat induced by mixed nitrogen Source. Crop Sciences, vol. 36, No. 1, pp.121-126. doi:10.2135/cropsci1996.0011183X003600010022x, 1996.
- [17] Fioreze S.L, Castoldi G, Pivetta L.A, Pivetta L.G, Fernandes D.M and Büll L.T, Tillering of two wheat genotypes as affected by phosphorus levels. Acta Scientiarum. Agronomy, vol. 34, pp. 331-338. doi:<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v34i3.13326>, 2012.
- [18] Rodríguez D, Keltjens W.G and Goudriaan J, Plant leaf area expansion and assimilate production in wheat (*Triticum aestivum* L.) growing under low phosphorus conditions. Plant Soil, vol. 200, pp. 227-240.

- doi:10.1023/A:1004310217694,1998.
- [19] Valle S.R and Calderini D.F, Phyllochron and tillering of wheat in response to soil aluminum toxicity and phosphorus deficiency. *Crop Pasture Sciences Journal*.
[Online] available: <http://dx.doi.org/10.1071/CP09310>, 2010.
 - [20] Rodríguez D, Andrade F.H and Goudriaan J, Effects of phosphorus nutrition on tiller emergence in wheat. *Plant Soil*, vol. 209, No.1, pp. 283-295. doi:10.1023/A:1004690404870, 1999.
 - [21] Charanjeet K, Performance of Wheat Varieties under Late and Very Late Sowing Conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. Vol. 6, No. 9 pp. 3488-3492.
<https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.609.428>, 2017.
 - [22] Nosheen A, Yield maximization through nutrient management in irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) 2374. Publisher JAU, JUNAGADH. Junagadh Agricultural University, Junagadh MSC Thesis
<http://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/5810034368>, 2017.
 - [23] EL-Debaby A.E, Ibrahim K.E, Saad A.M.M and EL Salhy T.S, Wheat lodging and growth characters as affected by some agricultural practices. *Annual Agriculture Sciences*, vol. 32, pp.1325-1337, 1994.
 - [24] UGMCL, Uganda Grain Milling Company Limited, Wheat Production Handbook for Uganda in Agriculture Research Network publications and documents (ARENET). (On line) available: www.arenet.or.ug. Accessed on 27th February, 2014, 2011.
 - [25] Ahmed A.S.H, Effect of nitrogen levels and sowing date on growth and yield of wheat (*Triticum Aestivum* L.) varieties grown at different elevations in Jebel Marra Highland. UOFK.
[Online] available: <http://khartoumspace.uofk.edu/handle/123456789/10730>, 2015.
 - [26] Liu L, Hu C, Olesen J.E, Ju Z, Yang P and Zhang Y, Warming and nitrogen fertilization effects on winter wheat yields in northern China varied between four years. *Field Crops Research*, vol. 151, pp. 56-64. doi:10.1016/j.fcr.2013.07.006, 2013.
 - [27] Noureldin N.A, Saady H.S, Ashmawy F and Saed H.M, Grain yield response index of bread wheat cultivars as influenced by nitrogen levels. *Annals of Agricultural Sciences*, vol 58, pp. 147-152. doi:10.1016/j.aos.2013.07.012, 2013.
 - [28] Okuyama L.A, Federizzi L.C and Barbosa Neto J.F, Correlation and path analysis of yield and its components and plant traits in wheat. *Ciência Rural*, vol. 34, pp. 1701-1708. doi:10.1590/S0103-84782004000600006, 2004.
 - [29] Dalirie M.S, Sharifi R.S and Farzaneh S. Evaluation of yield, dry matter accumulation and leaf area index in wheat genotypes as affected by terminal drought stress. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, vol. 38, pp. 182-186, 2010.
 - [30] Lambers H, Brundrett M.C, Raven J.A and Hopper S.D, Plant mineral nutrition in ancient landscapes : high plant species diversity on infertile soils is linked to functional diversity for nutritional strategies. *Plant Soil*, vol. 334, No. 1, pp. 11-31. doi:10.1007/s11104-010-0444-9, 2010.
 - [31] Khan P, Imtiaz M, Aslam M, Shah H, Khursheed S, MemonYousuf M, Siddiqui S.H, Effect of different nitrogen and phosphorus ratios on the performance of wheat cultivar 'KHIRMAN'. *Sarhad Journal of Agriculture*, vol. 24, No. 2, pp 234-240, 2008.
 - [32] Sakin A.M, Yildirim A and Gokmen S, The Use of Number of Kernels per Spike as selection criteria in Durum Wheat (*Triticum turgidum* ssp.durum Desf.) Breeding. *Ziraat Fakultesi Dergisi*, vol. 21, pp. 67-71. 2004.
 - [33] Knezevic D, Zecevic V, Stamenkovic S, Atanasijevic S and Milosevic B, Variability of number of kernels per spike in wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Central European. Agriculture*, vol.13, No. 3, pp. 608-614. doi:10.5513/JCEA01/13.3.1099, 2012.
 - [34] Adhikary, S. ., ALAM, M. ., & Paul, N. Variation of grain growth of wheat cultivars. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, vol. 34, pp. 351–359. 2009.
 - [35] Khalid M.S, Saleem M.F, Ali S, Pervez M.W, Rehman M, Hussain S and Rehman K, Optimization of nitrogen fertilizer level for newly evolved wheat (*Triticum aestivum*) cultivars Muhammad Shahzad Khalid*1, Muhammad Farukh. *Applied Science Reports (Vol. 3)*. doi:10.15192/PSCP.ASR.2014.3.2.8387, 2014.
 - [36] Sakin, A. M., Yildirim, A., Gokmen, S, The Use of Number of Kernels per Spike as selection criteria in Durum Wheat (*Triticum turgidum* ssp.durum Desf.) Breeding. *Ziraat Fakultesi Dergisi*, vol. 21, No.1, pp. 67–71, 2004.
 - [37] Kaleem, S., Ansar, M., Ali, M. A., Sher, A., Ahmad, G., & Rashid, M, Effect of phosphorus on the yield and yield components of wheat variety “ INQLAB-91 ” under rainfed conditions. *Sarhad Journal of Agriculture*, vol. 25, No. 1, pp. 1989–1992, 2009.
 - [38] Enayat A, Lack S and Modhej A, Effect of Different Nitrogen Rates on Grain Yield and Grain Growth of Bread and Durum Wheat Genotypes. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, vol. 4, No. 11, pp. 3076-3082. doi:ISSN 2051-1914. 2013.

- [39] Dawson J.C, Huggins D.R and Jones S.S, Characterizing nitrogen use efficiency in natural and agricultural ecosystems to improve the performance of cereal crops in low-input and organic agricultural systems. *Field Crops Research*, vol.107, No. 2, pp. 89-101. doi:10.1016/j.fcr.2008.01.001, 2008.
- [40] Prasad R, Review / Synthesis Efficient fertilizer use : The key to food security and better environment. *Journal of Tropical Agriculture*, vol. 47(November 2004), pp. 1-17, 2009.
- [41] Kaizzi K.C, Byalebeka J, Semalulu O, Alou I, Zimwanguyizza W, Nansamba A, Musunguzi P, Ebanyat P, Hyuha T and Wortmann C.S, Maize response to fertilizer and nitrogen use efficiency in Uganda. *Agronomy Journal*. Vol. 104, No. 1, pp. 73-82. doi:10.2134/agronj2011.0181, 2012.
- [42] Dobermann A, Nutrient use efficiency - measurement and management. In *General Principles, Strategy for their Adoption and Voluntary Initiatives vs Regulations* (pp. 1-28). Brussels, Belgium, 2007.
- [43] Kihara J and Njoroge S, Phosphorus agronomic efficiency in maize-based cropping systems : A focus on western Kenya. *Field Crops Research*, vol.150, pp.1-8. doi:10.1016/j.fcr.2013.05.025, 2013.
- [44] Lo L, Lo R.J Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions : effect of tillage , crop rotation and N fertilization. *Field Crops Research*, vol. 71, pp. 31-46.
[Online] available: www.elsevier.com/locate/fer, 2001.
- [45] Selles F, Campbell C.A, Zentner R.P, Curtin D, James D.C and Basnyat P, Phosphorus use efficiency and long-term trends in soil available phosphorus in wheat production systems with and without nitrogen fertilizer. *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 91, pp. 39-52. doi:10.4141/CJSS10049, 2011.
- [46] Manske G.G.B, Ortiz-monasterio J.I, Ginkel M.V and Gonza R.M, Importance of P uptake efficiency versus P utilization for wheat yield in acid and calcareous soils in Mexico. *European Journal of Agronomy*, vol. 14, pp. 261-274.
[Online] available: www.elsevier.com/locate/eja, 2001.
- [47] Rose T.J and Wissuwa M, Rethinking internal phosphorus utilization efficiency: A new approach is needed to improve PUE in grain crops. *Advance in Agronomy* (1st ed), vol. 116, pp. 185-217, Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-394277-7.00005-1, 2012.
- [48] Kihara, J., & Njoroge, S, *Field Crops Research Phosphorus agronomic efficiency in maize-based cropping systems : A focus on western Kenya*. *Field Crops Research*, vol. 150, pp: 1–8. doi:10.1016/j.fcr.2013.05.025, 2013.

Gestion des conflits entre agriculteurs et éleveurs dans la zone agro-écologique du centre Bénin

DAGBELOU V. K. Dominique¹, A. SALIOU Rachidi A.², OUMOROU M. YABI³, and A. Jacob⁴

¹Doctorant et Enseignant chercheur, Institut Universitaire de Technologie de Gestion, Université de Parakou, Benin

²Laboratoire d'Ecologie Appliquée (LEA/FSA/UAC), 02 BP 388 Parakou, Benin

³Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée (LaRBA/EPAC/UAC), 01 BP 2009, Cotonou, Benin

⁴Directeur du Laboratoire de Recherche en Economie Sociale (LARDES - UP), Directeur de l'Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau (EDSAE), Benin

Copyright © 2019 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 agro-pastoral zone of central Benin is marked by the scarcity of watering points and the degradation of pastures. The use of agropastoral resources leads to conflicts between farmers and pastoralists. The present article on the management of agro-pastoral conflicts in the Benin center, aims to studying the modes of management of agropastoral conflicts by the protagonists. Specifically, it is a question of determining the causes of the conflicts between farmers and herders, to make the typology of the conflicts of use of the agropastoral resources, and to determine their modes of regulation by the different actors. The methodological approach adopted consisted of a field survey, and an analysis of the different conflicts and their method of settlement. The data processing revealed five types of conflict and two modes of dispute resolution according to the protagonists.

KEYWORDS: Indicators, conflicts, conflits actors, Middle Benin, agro-pastoral resources.

RÉSUMÉ: La zone agropastorale du centre Bénin est marquée par la raréfaction des points d'abreuvement et la dégradation des pâturages. L'utilisation des ressources agropastorales entraîne des conflits entre agriculteurs et éleveurs. Le présent article sur la gestion des conflits agro-éleveurs dans le centre Bénin, vise à étudier les modes de gestion des conflits agropastoraux par les protagonistes. De façon spécifique, il s'agit de déterminer les causes des conflits entre agriculteurs et éleveurs, de faire la typologie des conflits d'usage des ressources agropastorales, et de déterminer leurs modes de règlement par les différents acteurs.

La démarche méthodologique adoptée a consisté à une enquête de terrain, et une analyse des différents conflits et leur mode de règlement. Le traitement des données a permis de noter cinq types de conflits et deux modes de règlement des conflits suivant les protagonistes.

MOTS-CLEFS: Indicateurs, conflits, acteurs aux conflits, Moyen-Bénin, ressources agro-pastorales.

1 INTRODUCTION

L'usage des ressources naturelles par les agriculteurs et les éleveurs de la zone agro-écologique du centre Bénin entraîne de graves contraintes, qui menacent sa base productive [10]. Au nombre des raisons justificatives de ces contraintes figurent les pressions humaines consécutives à la croissance démographique et les aléas naturels notamment climatiques. En raison de leur fréquence et de leur violence, les conflits agropastoraux sont placés au centre des préoccupations d'un large éventail

d'acteurs intervenant à différents niveaux. Plus particulièrement les questions relatives aux conflits ont attiré l'attention de nombreux scientifiques. Ainsi plusieurs études ont été réalisées à cet effet. La plupart de ces auteurs perçoivent les conflits agropastoraux comme des risques ou des contraintes au développement agricole en Afrique de l'Ouest [15] ; [13]. Ces conflits ne sont qu'une manifestation des problèmes induits par les mutations environnementales, politiques, sociales et économiques en cours dans la région [6] ; [12]. Ces auteurs ont montré qu'en dépit de son caractère extensif et mobile, plusieurs autres facteurs prédisposent les agro-éleveurs aux conflits. Cependant, il ressort que la gestion des conflits agro-pastoraux et leur mode de règlement a été peu documenté dans la recherche. Le présent article centré sur l'analyse de la gestion de ces conflits et de leurs modes de règlement vient combler ce vide.

L'objectif général poursuivi par cette recherche est d'étudier la gestion et les modes de règlement des conflits agro-pastoraux dans le moyen Bénin. De façon spécifique, il s'agit de :

- Déterminer les causes des conflits agro-pastoraux,
- Faire la typologie agro-pastoraux
- Analyser leurs modes de règlement

Pour atteindre ces objectifs, la démarche méthodologique suivante a été adoptée.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 MATÉRIEL

Il comprend le milieu d'étude, les données collectées, les outils de collecte et de traitement des données.

MILIEU D'ÉTUDE

L'étude a été conduite dans la zone agroécologique du centre Bénin qui est une zone de transition climatique entre le tropical sub-humide et le sub-soudanien. Elle est limitée au nord-ouest par la Zone Ouest Atacora; au nord-est par la Zone Vivrière du Sud-Borgou ; à l'Ouest par la République du Togo et à l'Est par la République Fédérale du Nigeria (Figure 1).

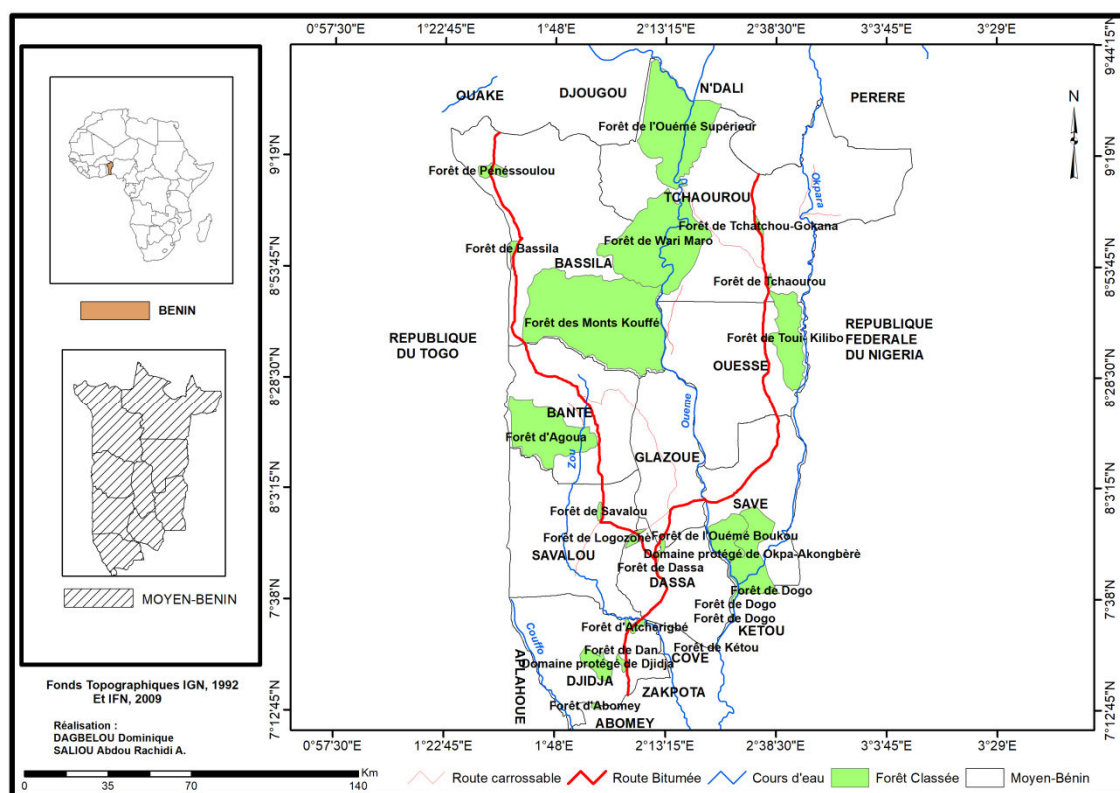


Fig. 1. Carte de situation du Moyen-Bénin

2.2 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

La démarche méthodologique liée à cette recherche est focalisée sur les techniques de collecte et de traitement des données.

2.2.1 TECHNIQUES D'ÉCHANTILLONNAGE ET DE COLLECTE DES DONNÉES

Les données collectées portent sur les conflits agro-pastoraux, les entités spatiales concernées et les modes de règlement appliqués par les protagonistes. A cet effet un échantillonnage de 150 transhumants et 126 agriculteurs ont été interviewés par choix raisonné à travers un questionnaire d'enquête. 20 focus group de 5 individus ont été constitués par les comités locaux de gestion des conflits, les autorités locales, communales et judiciaires.

2.2.2 TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES DONNÉES COLLECTÉES

A partir des données d'enquête collectées, les variables de fonctionnalité et d'usage ont été distinguées. Pour apprécier le niveau d'occurrence des conflits, des scores ont été attribués en fonction de l'importance de manifestation des conflits et suivant les entités du calendrier pastoral traditionnel. Ainsi, on a : 1= Risque très faible, 2= Risque faible, 3= Risque moyen, 4= Risque élevé, 5= Risque très élevé.

Ces données ont été utilisées pour la modélisation des conflits agro-éleveurs autour des aires de transhumance. Les analyses issues de ces différents traitements ont permis d'aboutir aux résultats suivants.

3 RESULTATS

3.1 CAUSES DES CONFLITS AGRO-PASTORAUX

Les conflits d'usage des ressources pastorales, hydriques et infrastructures hydrauliques dans le Moyen-Bénin trouvent leurs origines dans les facteurs naturels, anthropiques et politiques.

3.1.1 FACTEURS NATURELS

Parmi les facteurs naturels, il y a, entre autres, les crises éco-climatiques que connaît l'Afrique de l'Ouest. Les sécheresses sahéliennes des années 1970 et 1980 ont beaucoup modifié les systèmes de production agropastoraux, en particulier les règles de gestion des ressources naturelles par les populations. Ce qui a eu pour conséquence l'afflux des troupeaux transhumants du Niger, du Burkina Faso et du Nigeria vers le Bénin.

3.1.2 FACTEURS ANTHROPIQUES

Sur le plan socio-économique, on enregistre une forte extension des surfaces cultivées du fait de la forte croissance démographique et de l'extension des cultures de rente. Aussi, les pasteurs se sont-ils engagés dans des activités agricoles afin de mieux gérer les risques en limitant l'exploitation de leur troupeau. Cette pression accrue sur les terres et les autres ressources naturelles entraîne l'occupation des espaces pastoraux traditionnels (zones de pâturage, pistes à bétail, etc.), d'où une exacerbation des conflits entre les éleveurs transhumants et les autres usagers des ressources naturelles (agricultures, forestiers, etc.). Les conflits liés au partage d'usage des ressources agro-pastorales par les protagonistes ont causé d'énormes dégâts, créent une tension permanente entre les éleveurs transhumants et les communautés des zones d'accueil.

3.1.3 CONTRAINTES POLITIQUES

La décentralisation et le transfert de la gestion des ressources naturelles aux Communes rurales constituent une opportunité pour les pasteurs, tout en présentant également certains risques. C'est une opportunité dans la mesure où la gestion des ressources par les communautés locales assure en principe une meilleure sécurité d'accès aux ressources pastorales. Mais il existe également un risque de marginalisation accrue des pasteurs en raison de leur faible représentativité dans les instances locales de prises de décision qui les concernent. A cela s'ajoute le risque d'imposition de taxes diverses qui peuvent, selon leur ampleur, constituer une entrave à l'accès aux ressources pastorales.

3.2 TYPOLOGIE DES CONFLITS D'USAGE DES RESSOURCES AGRO-PASTORALES

La classification des conflits liés à la transhumance dans le Moyen-Bénin est basée d'une part sur les indicateurs spatialisés d'usage des ressources pastorales, hydriques et infrastructures hydrauliques ; et d'autre part sur les différents protagonistes qui s'y opposent notamment les agriculteurs, les éleveurs, les gendarmes et les forestiers.

Ainsi, on distingue suivant ces différents acteurs les conflits entre agriculteurs sédentaires et éleveurs transhumants, les conflits entre éleveurs autochtones et allochtones, les conflits entre éleveurs et hommes en uniformes et enfin les conflits entre Etats voisins.

3.2.1 MODÉLISATION DE L'OCCURRENCE DES CONFLITS D'USAGE AGRO-PASTORAL

La modélisation de l'occurrence des conflits dans le Moyen-Bénin a été réalisée à partir de trois variables dont l'une de description (calendrier traditionnel de transhumance), l'autre de risque (risques de conflits d'usage) et le troisième (règles de conduite des troupeaux transhumants).

Le calendrier pastoral utilisé est issu de la langue « Peulh » et réparti en cinq saisons traditionnelles de transhumance. Il s'agit des saisons de transhumance de Seeto qui correspond au début de la saison pluvieuse (mai à juin), N'dungu s'effectue en pleine saison pluvieuse (juillet à septembre), Yaané pratiquée en début de récoltes (octobre), Dabuné exploitée en saison sèche et froide (novembre à janvier) et Ceedu utilisée en saison sèche et chaude (février à avril).

Les résultats du modèle sont présentés dans le tableau ci-après.

Tableau 1. Modèle d'occurrences des conflits en fonction des périodes de transhumances

Entités du calendrier pastoral		Seeto(Mai-Juin)	N'dungu(Juil-Sept)	Yaané(Octobre)	Dabuné(Nov-Janv)	Ceedu(Fév-Avril)	Indicateurs -22portes d'entrée -38 zones de conflits -07 zones d'accueil
Variables de description	Saisons / Périodes	Début de saison des pluies	Pleine saison des pluies	Début des récoltes	Saison sèche et froide	Saison sèche et chaude	
Variable de risque	Risque de conflits d'usage liés aux couloirs de passage	1 ↑	1 ↑	5 ↑	3 ↑	1 ↑	-24 zones de conflits liés aux couloirs de passage
	Risque de conflits d'usage liés aux Aires de pâturages	1 ↑	1 ↑	1 ↑	3 ↑	4 ↑	-12 zones de conflits liés aux aires de pâturages
	Risque de conflits d'usage liés aux cours d'eau	2 ↑	1 ↑	1 ↑	3 ↑	5 ↑	-10 zones de conflits liés à l'usage des cours d'eau
	Risque de conflits d'usage liés aux Aires protégées	1 ↑	1 ↑	1 ↑	3 ↑	4 ↑	-08 zones de conflits liés à l'usage des aires protégées
	Risque de conflits d'usage liés aux points d'eau	1 ↑	1 ↑	1 ↑	3 ↑	4 ↑	-04 zones de conflits liés à l'usage des points d'eau
Règles de conduite des troupeaux en fonction de la saison		Rechercher les zones de repousse de graminées lors des retour vers les zones de départ	Respecter et suivre les couloirs de passage dans la conduite des troupeaux	-Eviter les dégâts sur les récoltes -Négocier des contrats de vaine pâture	Reconstitution des réserves de résidus de récoltes	Départ en transhumance pour accessibilité aux aires de pâturage et sources d'abreuvement	

Score : 1=Risque très faible, 2=Risque faible, 3=Risque moyen, 4=Risque élevé, 5=Risque très élevé

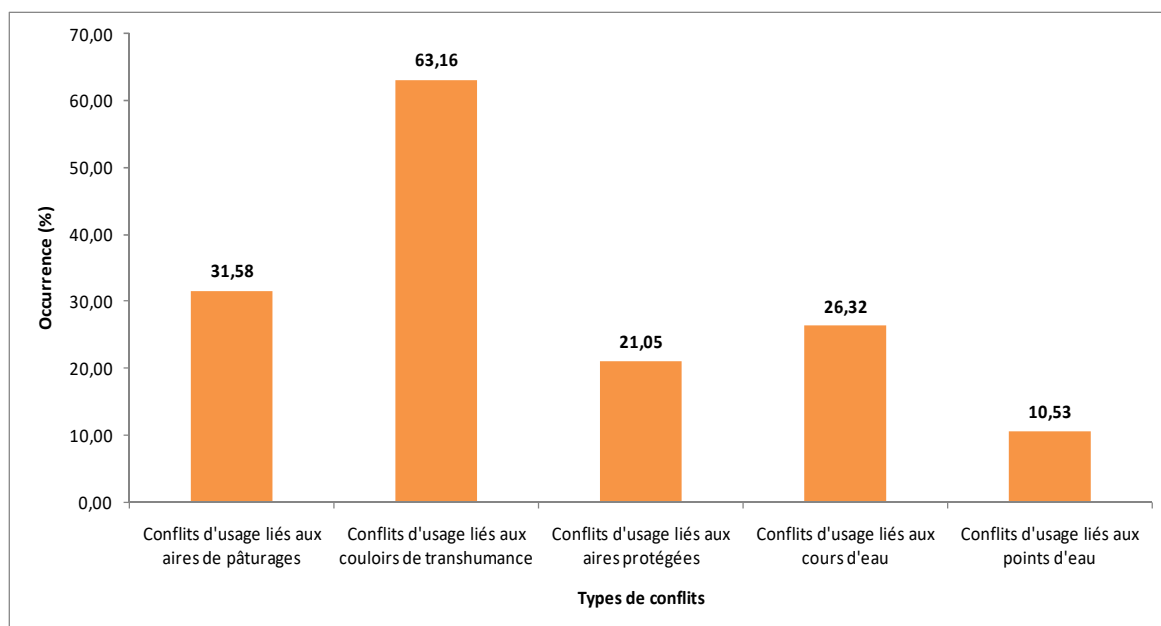


Fig. 2. Types des conflits de transhumance dans le Moyen-Bénin

Les plus importants sont les conflits entre agriculteurs et éleveurs (63,16%) liés au non-respect des couloirs de transhumance par les uns et les autres. On retient ensuite les conflits d'usage liés aux aires de pâturage (31,58%) et aux cours d'eau (26,32%) qui se déclenchent entre éleveurs autochtones et éleveurs transhumants.

Quant aux conflits liés aux aires protégées, ils se produisent entre éleveurs autochtones, éleveurs transhumants, agriculteurs et agents des Eaux Forêt et Chasse assermentés pour la répression.

3.2.2 TYPOLOGIE DES CONFLITS D'USAGE AUTOUR DES AIRES DE PÂTURAGE

3.2.2.1 CONFLITS ENTRE AGRICULTEURS ET ÉLEVEURS TRANSHUMANTS

L'occupation des couloirs de transhumance par des champs, les dégâts causés par le bétail transhumant sur les cultures et les récoltes sont les principales causes des conflits entre les agriculteurs et les éleveurs transhumants. Ces conflits ont pour origine l'occupation des espaces pastoraux traditionnels par l'extension des surfaces cultivées ou la méconnaissance et/ou le non-respect par les éleveurs transhumants des couloirs de passage. Ce type de conflit sévit le long des couloirs de passage et engendre des pertes énormes en vies humaines et d'importants dégâts matériels. Ainsi, lors des expéditions punitives suite aux dégâts causés par les transhumants, des campements entiers sont brûlés, des troupeaux de bétail sont décimés. Ce type de conflits est légion dans la plupart des communes du Moyen-Bénin dont Djidja, Savalou, Savè, Bantè, Ouèssè, Tchaourou, Dassa, Glazoué et Bassila.

3.2.2.2 CONFLITS ENTRE ÉLEVEURS AUTOCHTONES ET ALLOCHTONES

Les conflits entre éleveurs autochtones et allochtones ont pour origine l'exploitation concurrente des ressources fourragères ou hydriques disponibles. A cela, on peut ajouter le vol de bétail par les transhumants et le risque épidémiologique lié à la transmission par les troupeaux transhumants au cheptel local des maladies contagieuses lors des déplacements. Ce type de conflit est récurrent dans les communes de Tchaourou, Bassila, Ouèssè, Savè et Djidja.

3.2.2.3 CONFLITS ENTRE ÉLEVEURS OU AGRICULTEURS ET HOMMES EN UNIFORMES

Ces conflits ont pour origine le surpâturage, l'émondage et l'êtêtage des ligneux fourragers, les feux de végétation, l'installation des champs dans les réserves protégées. A cela, il faut ajouter la méconnaissance et/ou le non-respect par les éleveurs transhumants et les agriculteurs des couloirs de passage, le risque épidémiologique lié à la transmission par les troupeaux transhumants au cheptel local des maladies contagieuses lors des déplacements et les actes de braconnage effectués par certains éleveurs transhumants et agriculteurs dans les aires protégées.

3.2.2.4 CONFLITS ENTRE ETATS VOISINS

Les conflits liés à la transhumance entre Etats voisins ont généralement pour origine la non application des textes régissant la transhumance transfrontalière. Au niveau national, plusieurs textes de Loi sont pris notamment la Loi n°87-013 du 21 septembre 1987 portant réglementation de la vaine pâture, de la garde des animaux domestiques et de la transhumance. Malheureusement, les dispositions réglementaires qui sont prises ne sont pas mises en application. C'est le cas dans la plupart des communes de la fermeture des couloirs de passage aux troupeaux transhumants ou l'occupation de ces couloirs par les agriculteurs, et l'abattage du bétail transhumant qui créent des mécontentements avec les Etats voisins.

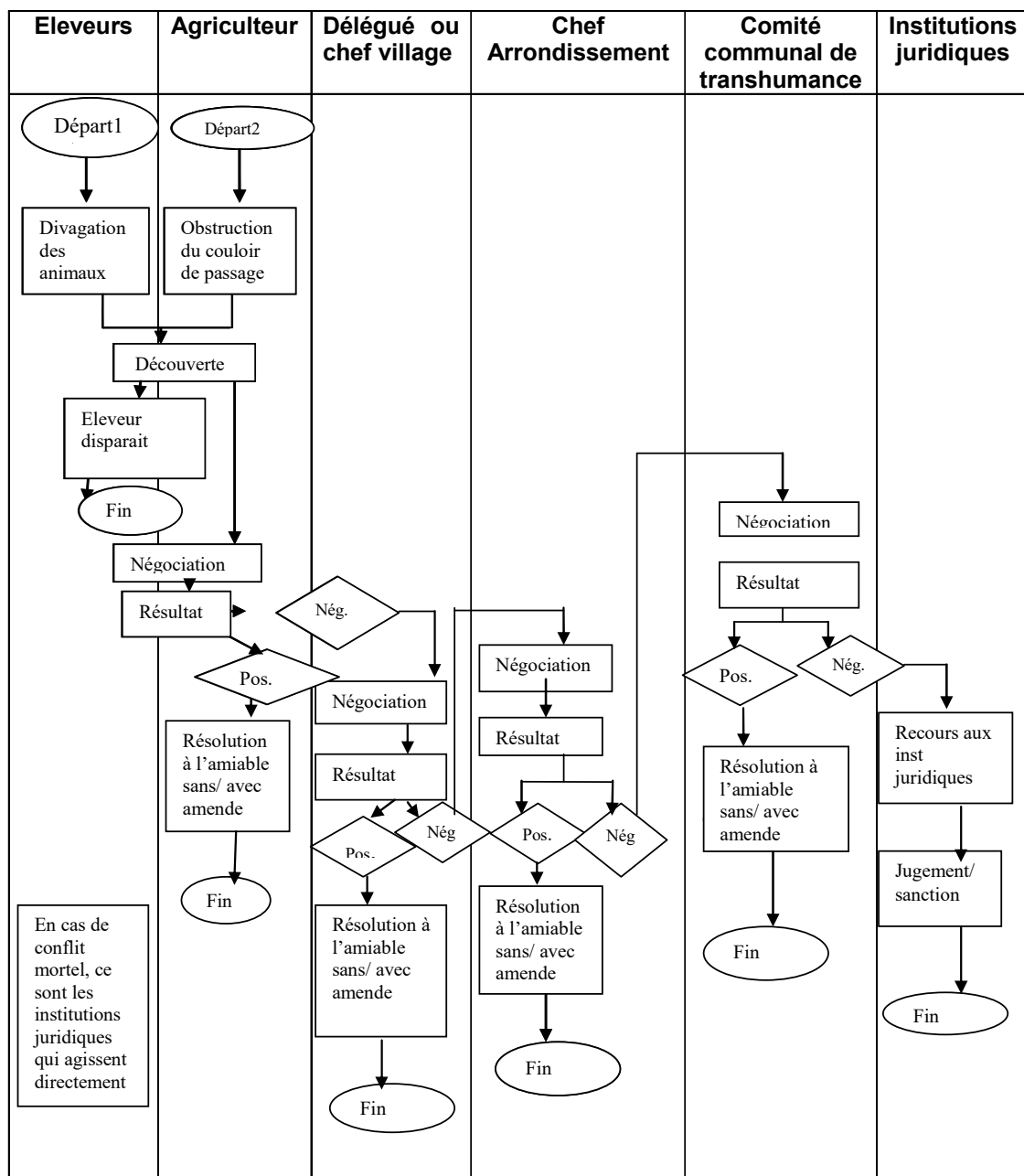
3.3 MODES DE GESTION DES CONFLITS AGRO-PASTORAUX

Deux types d'acteurs sont mis en exergue dans le processus de gestion des conflits agro-pastoraux. Il s'agit d'une part des protagonistes qui regroupent des éleveurs / transhumants, des agriculteurs ou des responsables de gestion des domaines protégés. D'autre part, on note le groupe des médiateurs de crise constitués par le Chef village ou Délégué, le Chef d'Arrondissement, les comités locaux de gestion des conflits agro-pastoraux, l'administration forestière et les institutions juridiques. Les figures ci-dessous montrent le processus de résolution des différends entre éleveurs et agriculteurs, entre éleveurs et administration forestière et le niveau d'implication des acteurs liés à la gestion des conflits agro-pastoraux. Ce processus de gestion n'intervient que lorsque l'acteur responsable des dégâts est connu. Souvent, le processus devient long (implique beaucoup d'acteurs) lorsque le présumé auteur n'est pas le vrai coupable ou refuse de reconnaître les faits qui lui sont reprochés).

Plusieurs cas de figures se présentent selon que le conflit se passe entre agriculteurs et éleveurs/transhumants ou éleveurs/transhumants et responsables de gestion des domaines protégés.

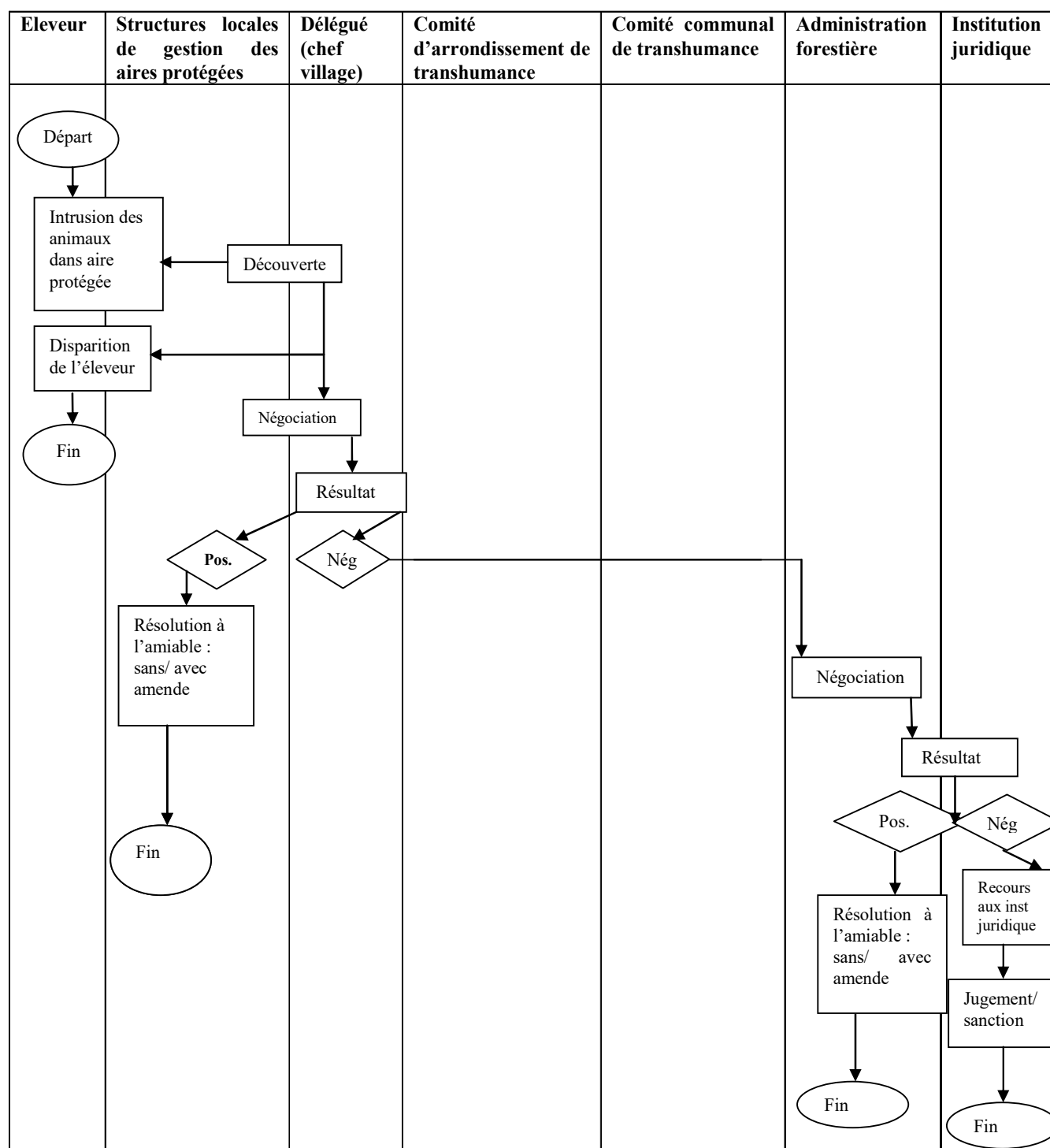
- Quel que soit le type, on procède d'abord à l'identification ou à la découverte du conflit ; s'il s'agit d'un conflit mortel ou qu'il y a eu des coups et blessures graves, le règlement se fait directement par les institutions juridiques lorsque le mis en cause est appréhendé ;
- Concernant le conflit entre agriculteurs et éleveurs/transhumants, une fois identifié, s'il n'est pas mortel ; sans blessures graves et qu'il ne s'agit que des dégâts, et le mis en cause concerné se présente en acceptant la négociation, le conflit est réglé à l'amiable entre les protagonistes avec ou sans amende du fautif.

Tableau 2. Processus de règlement de conflits entre agriculteurs et éleveurs



NB : Nég= Négatif ; Pos= Positif ; Inst = Institution

Tableau 3. Processus de règlement de conflits entre administration forestières et éleveurs



NB : Nég= Négatif ; Pos= Positif ; Inst = Institution

- Si le mis en cause refuse la négociation, l'affaire est transférée au niveau des autorités locales. Si le règlement dépasse leurs compétences, le comité communal de gestion de la transhumance s'en charge. En cas d'échec, on fait recours aux institutions juridiques pour la sentence.

- Quant au règlement du conflit entre éleveurs/transhumants et responsables de gestion des domaines protégés, le délit est d'abord identifié par les responsables locaux de gestion des réserves protégées après constats. S'il est mortel, l'affaire est gérée directement par les institutions juridiques ;
- S'il s'agit d'un délit non mortel, sans blessures graves, et le présumé coupable se présente, accepte la négociation en reconnaissant les faits qui lui sont reprochés, le problème est réglé à l'amiable avec ou sans amende selon la gravité des dégâts ;
- Si le présumé coupable se présente et refuse la négociation, les autorités locales servent de médiation, en cas de mésentente, le comité communal de transhumance s'en charge. Lorsque la négociation à ce stade n'aboutit pas, les protagonistes se confient aux institutions juridiques ;
- Quel que soit le type de conflit, si le mis en cause disparaît et n'est plus retrouvable, l'affaire prend fin.

Ce climat conflictuel entre agriculteurs et éleveurs/transhumants d'une part et entre éleveurs/transhumants et responsables de gestion du domaine protégé d'autre part créé pour l'éleveur un climat de méfiance vis-à-vis de ces deux acteurs qu'il considère comme des menaces pour une exploitation apaisée des ressources pastorales. Il importe alors d'élaborer et de mettre en œuvre une stratégie de dialogue sociale permanente.

4 DISCUSSION

CSAO/OCDE (2007) rapporte qu'au Bénin entre 1986 et 1994, les conflits agro-pastoraux ont causé 90 morts dont 57 dans le seul département du Zou. Au Bénin, un autre point chaud des conflits agro-pastoraux est l'extrême nord du pays.

La typologie des conflits agro-pastoraux dans le centre Bénin a été modélisée à partir de différents facteurs. Nos résultats rejoignent ceux de [8] dans un article portant sur la gestion de la transhumance transfrontalière dans la région du Parc Régional W, qui propose une typologie en quatre points. Les conflits sur le plan écologique (dégradation des écosystèmes sur les axes de transhumance et les zones d'accueil), sur le zoo-sanitaire (risques de transmission de maladies contagieuses à la faune sauvage), sur le plan socio-économique (conflits entre agriculteurs et éleveurs transhumants) et enfin sur le plan zootechnique (rétrécissement des espaces pastoraux d'accueil des transhumants et autres tracasseries).

Dans un document portant sur la transhumance transfrontalière entre le Niger, le Burkina Faso et le Bénin, [11] présentent quant à eux une typologie de ces conflits basée sur les différents protagonistes qui s'opposent. Ainsi ils distinguent les conflits entre les agriculteurs sédentaires et les éleveurs transhumants, les conflits entre agriculteurs et éleveurs autochtones, les conflits entre éleveurs autochtones et allochtones, les conflits entre éleveurs et hommes en uniformes (forestiers, gendarmes, douaniers) et enfin les conflits entre Etats voisins qui ont des contrecoups graves sur les acteurs de terrains.

Pour prévenir ou gérer ces conflits, plusieurs mesures sont prises par les différents acteurs concernés. Ces mesures sont aussi bien individuelles que collectives et rejoignent celles de [6] ; [14]. De même que les initiatives prises pour juguler les conflits se situent depuis le niveau local (terroir villageois) jusqu'au niveau supra national (espace ouest africain-CEDEAO).

Dans les études sur les conflits agriculteurs-éleveurs, la littérature montre quelques problèmes méthodologiques relevés par [7]. Il s'agit par exemple du fait que les chercheurs sont souvent affiliés avec une des parties impliquées dans le conflit posant le problème des données à collecter et leur interprétation. Un autre enjeu méthodologique, c'est qu'il est difficile d'avoir des données fiables sur l'évolution du nombre de conflits [3] même si [7] relève qu'il est facile de documenter les aspects plus qualitatifs de conflits agriculteurs-éleveurs. Enfin, de nombreuses analyses sont fondées sur de comptes rendu contradictoires, des informations incomplètes et des observations partielles. On retrouve ensuite dans la littérature de nombreuses études de cas pour illustrer des modèles généraux et des évolutions de conflits agriculteurs-éleveurs. En général, les études empiriques plus détaillées des contextes écologiques de conflits sont nécessaires pour examiner le rôle de la dégradation de l'environnement sur l'évolution de la pression et de la compétition sur les ressources naturelles. En effet, depuis les années 70, dans la zone soudano-sahélienne, les tensions et conflits entre agriculteurs et éleveurs ont toujours existé pour des raisons variées : remontée du front pionnier agricole en période de pluviométrie normale, colonisation des abords des nappes d'eau par les agriculteurs, destruction des récoltes par les troupeaux nomades [1], [2] mais également l'établissement des parcs naturels ou leur extension, le développement de l'irrigation [4]. Avec la pression sur l'espace pastoral et la tendance à la sédentarisation, de nombreux éleveurs qui résident à la lisière d'un village pratiquent la transhumance du bétail bovin combinée avec l'agriculture céréalière de subsistance [8]. Par conséquent, la coexistence entre les groupes d'agriculteurs et les agropasteurs peuls est devenue de plus en plus une nécessité.

5 CONCLUSION

L'analyse des relations conflictuelles entre les différentes entités liées aux ressources agro-pastorales en fonction du calendrier pastoral traditionnel ont contribué à la compréhension de l'occurrence des conflits.

Les conflits d'usage des ressources pastorales, hydriques et infrastructures hydrauliques dans le Centre-Bénin trouvent leurs origines dans les facteurs naturels, anthropiques et politiques. Leur classification est basée d'une part sur les indicateurs spatialisés d'usage des ressources pastorales, hydriques et infrastructures hydrauliques ; et d'autre part sur les différents protagonistes qui s'y opposent notamment les agriculteurs, les éleveurs, les gendarmes et les forestiers.

Deux types d'acteurs sont mis en exergue dans le processus de gestion des conflits de transhumance dans le Centre-Bénin. Il s'agit d'une part des protagonistes qui regroupent des éleveurs/transhumants, des agriculteurs ou des responsables de gestion des domaines protégés. D'autre part, on note le groupe des médiateurs de crise constitués par le Chef village ou Délégué, le Chef d'Arrondissement, les comités locaux de gestion de transhumance, l'administration forestière et les institutions juridiques.

RÉFÉRENCES

- [1] E. Bernus « Pasteurs face à la sécheresse : rebondir ou disparaître ? » ; IRD ; pp. 5, 1995.
- [2] E. Bernus « Possibilités et limites de la politique d'hydraulique pastorale dans le sahel nigérien ». Cah.ORSTOM, sér. Sci. Hum., Vol.11 n° 2 pp.119-126, 1974.
- [3] S. Bodé « Pratiques pastorales et biodiversité des parcours dans le canton de Dantchiandou (Fakara) », Mémoire de DESS CRESA, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, pp. 70, 2004.
- [4] Y. Boni « Etude des pâturages naturels et intégration des éleveurs de ruminants dans les programmes d'aménagement de la forêt classée de Wari-Marou ». Mémoire de Maitrise de Géographie. DGAT/FLASH/UAC, pp. 66, 2011.
- [5] CEDEAO, CSAO, OCDE « Atlas de l'intégration régionale en Afrique de l'Ouest, Série Environnement : le Climat et les Changements Climatiques », pp.1-24, 2008.
- [6] L. De Hann *Agriculteurs et éleveurs au Nord-Bénin : Ecologie et genres de vie* Khartala, Paris, France, pp.217, 1997.
- [7] A. Djohy « Transhumance et changements climatiques. Une analyse des dynamiques sociopolitiques et organisationnelles d'adaptation des éleveurs transhumants dans l'Alibori (Nord-Bénin) », Thèse d'ingénieur agronome, UP/ FA/ DESR, pp. 128, 2010.
- [8] O. Kagoné « Pastoralisme et aires protégées en Afrique de l'Ouest : Du conflit à la gestion concertée de la transhumance transfrontalière dans la région du Parc Régional W (Bénin, Burkina-Faso, Niger) » pp. 190, 2006.
- [9] République Populaire du Bénin. (1987). La loi n° 87-13 du 21 septembre 1987 portant réglementation de la vaine pâture, de la garde des animaux domestiques et de la transhumance en République du Bénin, Cotonou, Bénin, pp. 15, 1987.
- [10] A. R. A. Saliou; M. Oumorou et B. A. Sinsin (2015). Modélisation des niches écologiques des Ligneux Fourragers en condition de variabilité bioclimatique dans le Moyen-Bénin (Afrique de l'Ouest). *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, Vol.70 n° 4, pp.342-353, 2015.
- [11] G. Schönegg, et P. Martel « Les conflits liés à la transhumance transfrontalière entre le Niger, le Burkina Faso et le Bénin » pp.125, 2006.
- [12] O. Sy « La transhumance transfrontalière source de conflits au Ferlo (Sénégal) », M@ppemonde98, (2010) mappemonde.mgm.fr/num26/articles/art10201.html, pp. 13, 2010.
- [13] T.T.K. Tchamie, T. T. K. « Les conflits sociaux liés à la transhumance, et leur règlement au Togo, Sciences sociales et humaines », Revue CAMES, Série, B. 5, pp.103-113, 2003.
- [14] B. Thébaud « Gestion de l'espace et crise pastoral au Sahel. Etude comparative du Niger et du Yatanga burkinabé ». Thèse de doctorat, Ecole des hautes Etudes en sciences sociales, Paris/France, pp. 476, 1999.
- [15] B. Toutain « Pastoralisme et aires protégées : Coexistence ou concurrence, leçons tirées d'études de cas en Afrique de l'Ouest », ECOPAS, pp.5, 2003.

