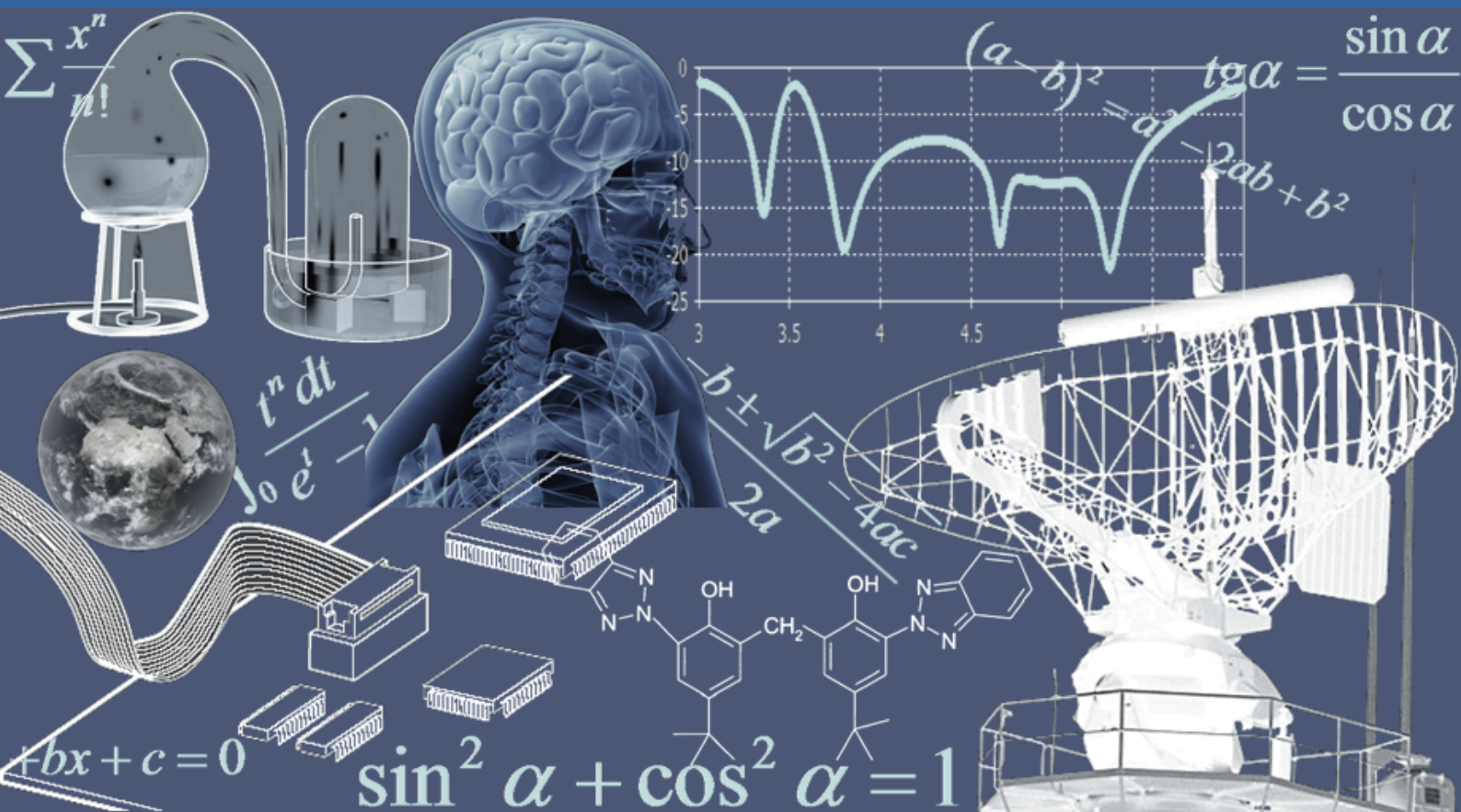


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 19 N. 4 March 2017



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Applied Studies

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

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

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

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

Table of Contents

Diseño de un sistema difuso para el reconocimiento de la actividad muscular en señales de EMG superficiales <i>Robin Alfonso Blanco, Andrés Mauricio Cifuentes Bernal, and Mauricio Plaza Torres</i>	729-737
ACARDIAC HEADLESS TWIN: CASE REPORT AND LITERATURE REVIEW <i>Mohammed Bhihi, Najia ZERAIDI, Clementine UWIZEYEMARIYA, Imane ELKARI, Mountasser ELBOUZIDI, Jamal ELAZZAOUI, Abdelaziz BAIDADA, and Aicha KHARBACH</i>	738-740
Détermination de quelques conditions optimales de réalisation de micro-diagnostic latex chez l'hévéa (<i>Hevea brasiliensis</i> Mull. Arg.) cultivé en Côte d'Ivoire <i>Christophe Bini Yao ADOU, Eric Francis Soumahin, Hilaire Tanoh KOUAKOU, Jean Lopez Essehi, Guy Joël Olivier AT SIN, and Samuel Obouayeba</i>	741-749
Pattern of Genetic Diversity of ABO system in Moroccan Blood Donors Evidenced by Model-Based Bayesian Clustering <i>Fatima Zarati, Hafid Achtak, Mouna Moutia, Houria El Housse, Zainab Ouabdelmoumene, Kamal Bouisk, and Norddine HARTI</i>	750-759
Burning mouth syndrome <i>Soukayna Bahbah and Wafaa El Wady</i>	760-764
APPORT DE L'HYDROGRAPHIE A LA CARTOGRAPHIE GEOLOGIQUE ET STRUCTURALE DANS LES REGIONS AU RECOUVREMENT TERRIGENE EPAIS: CAS DE L'INDICE D'OR "BAOULE EST" (CENTRE DE LA COTE D'IVOIRE) <i>Kadio Hilaire NIAMKE, Brou Etienne N'DRI, Mahaman Bachir Saley, and Jean Biemi</i>	765-776
UNE LOCALISATION RARE DES LEIOMYOMES: LA VULVE - A PROPOS D'UN CAS <i>M. Bamohamed, H. Saoudi Hassani, O. Alhaderi, Najia ZERAIDI, Abdelaziz BAIDADA, and Aicha KHARBACH</i>	777-780
Le tourisme solidaire, outil de la valorisation des ressources territoriales: Cas de l'association migration et développement <i>Firdaous GMIRA and Tariq Laajini</i>	781-788
Two stochastic models for EURO/MAD exchange rate, measure of their forecast accuracy and producing prediction intervals for futures exchange rate values <i>Mohammed Bouasabah and Charaf Bensouda</i>	789-799
Evolution des Conceptions des étudiants en cycle Licence: Cas de la Liaison chimique <i>Asmae Bouayad, Fatiha Kaddari, and Abdelrhani Elachqar</i>	800-805
Effect of two watering systems on sorghum productivity in Burkina Faso, West Africa <i>Pane Jeanne d'Arc Coulibaly, Daniel Okae-Anti, Badiori Ouattara, Thomas Gaiser, and Michel Papaoba Sedogo</i>	806-812
Dépenses énergétiques et consommations alimentaires des transporteurs à vélo du charbon de bois à Lubumbashi <i>N. Deogratias Mulungulungu and Sumaili Mukakakera</i>	813-823
Evaluation de la qualité hygiénique de quelques recettes antidiabétiques <i>GBEKLEY Efui Holaly, Soncy Kouassi, Karou Simplicie Damintoti, Djéri Bouraima, Aghodéka Kodjovi, Ameyapoh Blaise, Jacques Simporé, de Souza Comlan Aristide, and Gheassor Messanvi</i>	824-838
Composés bioactifs isolés des plantes à propriété anti-diabétique: Revue de littérature <i>GBEKLEY Efui Holaly, Kodjovi AGBODEKA, Karou Simplicie Damintoti, Kokou ANANI, Adjrah Yao, Toudji Gérard, Ameyapoh Blaise, Jacques Simporé, and Gheassor Messanvi</i>	839-849
THE RELATIONSHIP BETWEEN PERSONALITY TYPES, LEARNING STYLES, MOTIVATION, SELF-ESTEEM AND ACADEMIC STRESS AMONG DISTANCE LEARNERS IN IBADAN STUDY CENTER <i>Afusat Olanike Busari</i>	850-862
LES CRITERES DE CHOIX D'UNE BANQUE: UNE ANALYSE FAITE SUR LES PETITES ET MOYENNES ENTREPRISES DE LA VILLE DE BUKAVU <i>Damien MANEGABE KATULANYA</i>	863-869
Accès des individus aux services des institutions financières camerounaises: une analyse dans la région de l'Adamaoua <i>Joseph Djaowé and Bernadette Maiday</i>	870-885

LA CULTURE STRATEGIQUE DE L'ELITE MILITAIRE CAMEROUNAISE A L'EPREUVE DE LA LUTTE CONTRE BOKO HARAM	886-896
<i><u>Aïcha PEMBOURA</u></i>	
Effet de l'application du biochar et de la litière d'Acacia mangium sur la culture du maïs en Alley cropping au plateau de Batéké / RDC	897-907
<i><u>Max MUNGYEKO MAYOLA, Jean LEYOLY, and Jules ALONI KOMANDA</u></i>	
Investissements miniers et développement durable en RD Congo: Cas de la province du Katanga	908-918
<i><u>Ghislain BAKANIANI LISUMBU and Hervé MBAYA MUMPUNGA</u></i>	
Profil d'altération et potentiel aquifère en zone de socle cristallin au Sud de la Côte d'Ivoire	919-928
<i><u>Abé Parfait SOMBO, Kouassi Eric Germain Kouakou, Kouassi Francis William, Aimé KOUDOU, and Goha René Bie</u></i>	
État actuel de la biodiversité végétale du territoire de Kimvula au sud-ouest de la République Démocratique du Congo	929-943
<i><u>Anthony Kikufi, Jean LEJOLY, and Félicien Lukoki</u></i>	
Couplage entre un modèle Pluie-débit GR2M et un générateur de pluie pour évaluer le transfert entre deux barrages de Semi-aride Tunisien Sidi Saad et El Houareb	944-959
<i><u>Safouane Mouelhi, Saida Nemri, Sihem Jebari, and Mohamed Slimani</u></i>	
CARTOGRAPHIE DES FORMES D'ÉROSION HYDRIQUE DANS LA COMMUNE URBAINE D'ATTÉCOUBÉ (ABIDJAN, CÔTE D'IVOIRE)	960-968
<i><u>Brou Etienne N'DRI, Kadio Hilaire NIAMKE, Aimé KOUDOU, and Yao Alexis N'GO</u></i>	
Déterminants de la sécurité routière à Goma en République démocratique du Congo: analyse des informations issues des procès-verbaux de la police	969-978
<i><u>Woolf Kapiteni, Drissa Sia, Eric Tchouaket, and Hermès Karemere</u></i>	

Diseño de un sistema difuso para el reconocimiento de la actividad muscular en señales de EMG superficiales

[Design of a fuzzy logic system for muscular activity recognition using superficial EMG signals]

Robin Alfonso Blanco, Andrés Mauricio Cifuentes Bernal, and Mauricio Plaza Torres

Posgrados de Ingeniería,
Universidad Militar Nueva Granada,
Bogotá DC, Colombia

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

ABSTRACT: This paper presents a discussion about the implementation of mechanisms of fuzzy logic for recognizing patterns and parameters in order to predicting the movement intention from a user, through muscle activity in upper and lower members in adult human beings. This information is obtained through reading surface electromyography and is debugged and analyzed by a fuzzy logic system calculated for the prediction of intended movement. A brief comparison between fuzzy sets of straight lines and curved lines is done to determine the best system in generating reliable control orders for prototype robotic exoskeleton type. The fuzzy system designed is Mandani type with nine rules in the inference engine, which had two stages of interaction with samples: one design and other validation, where sought meet an initial threshold of 80 % of effectiveness. Used analog and digital components for data acquisition processes to perform amplification, filtering, digitization and transmission of samples which were implemented in full. The fuzzy system has four input parameters easy obtaining the electromyographic signal input, looking it fast execution at a later real time application. As an important part harmonization by using RMS envelope to make the system more robust against disturbances in the samples. This information is used for generate control commands to an exoskeleton type robotic system to support some user activities.

KEYWORDS: EMG, Fuzzy logic, intended movement, forearm, RMS.

1 INTRODUCCIÓN

Diversas aplicaciones de sistemas con lógica difusa han sido implementadas en los últimos años, por un lado, en los campos de predicción y apoyo diagnóstico en humanos [1] [2] [3], y por otro lado, enfocados en tareas de control por medio de la identificación de patrones en señales de diversa naturaleza, incluso para sistemas virtuales [4], algunos sistemas de reconocimiento por medio lógica difusa se han aplicado a señales de electromiografía (EMG) se han encontrado retrasos significativos entre las entradas de información al sistema y respuestas del algoritmo de lógica difusa, derivados usualmente de los tiempos de adquisición y procesamiento, lo que dificulta su aplicación en elementos de dinámica rápida, como los estrictamente electrónicos, sin embargo su aplicación en sistemas electromecánicos es aceptable.

En las aplicaciones predictivas relacionadas con señales electrofisiológicas, la cantidad de información obtenida suele ser grande [4], esto junto con un algoritmo complejo de procesamiento e identificación pueden incrementar los retrasos ya mencionados, por lo tanto es necesario la ejecución de procesamientos rápidos y la obtención de características fáciles de procesar en la señal como por ejemplo, el promedio o nivel DC y el nivel RMS en el dominio del tiempo y la frecuencia pico o de mayor amplitud en el dominio de la frecuencia, la elección de las señales debe entonces realizarse teniendo en mente la aplicación final del algoritmo difuso y la velocidad de respuesta requerida.

Las señales de electromiografía contienen gran volumen de información relevante que puede ser empleada para el control de sistemas robóticos, el EMG es una señal biomédica que mide la corriente eléctrica generada en los músculos durante su contracción y representa actividad muscular, una de las técnicas más populares para la adquisición de este tipo de señales es la electromiografía de superficie, que suele preferirse en diversos estudios, al ser una técnica no invasiva que hace uso de electrodos que se colocan en la superficie de la piel para la toma del diferencial de bio-potencial originado por las variaciones de corriente en las células musculares [5].

La adquisición y procesamiento de señales de EMG es ampliamente empleada en el control de sistemas robóticos protésicos y ortésicos [2], donde se busca suplir o potenciar una actividad motora en un paciente por medio de esta clase de mecanismos, sin embargo el problema de cómo hacer que el paciente de órdenes a un sistema protésico para que actúe de forma adecuada y natural, al mismo tiempo que esta actuación sea sincronizada y efectiva para el cumplimiento de una tarea sin generar incomodidades o daños en el paciente es aun motivo de estudio.

El uso de señales EMG para el control de sistemas robóticos con un adecuado procesamiento de estas señales, teniendo cuidado de que su ejecución sea rápida para no generar latencias que incomoden al paciente o no le permitan cumplir la actividad motora o tarea que deseaba cumplir, ha permitido resultados prometedores.

La inmensa diversidad de señales de EMG que pueden ser empleadas para un sistema de predicción y/o control puede llegar a dificultar una elección adecuada. Una de las partes del cuerpo con gran actividad electromiográfica sencilla de adquirir es la extremidad superior, debido a que hay gran variedad de movimientos en ellas y se puede colocar instrumentos de medida sin generar mayor inconformidad en los pacientes.

Una de las parejas de movimientos con las características de riqueza de información y facilidad de captura en la extremidad superior es el de supinación **Erreur ! Source du renvoi introuvable..a** y pronación **Erreur ! Source du renvoi introuvable..b** del antebrazo, que además son movimientos únicos de estas extremidades. Estos movimientos consisten en el cruce de los huesos internos del antebrazo: cubito y radio, los cuales generan grandes destrezas para el ser humano con el fin de ejecutar ciertas tareas con sus manos.

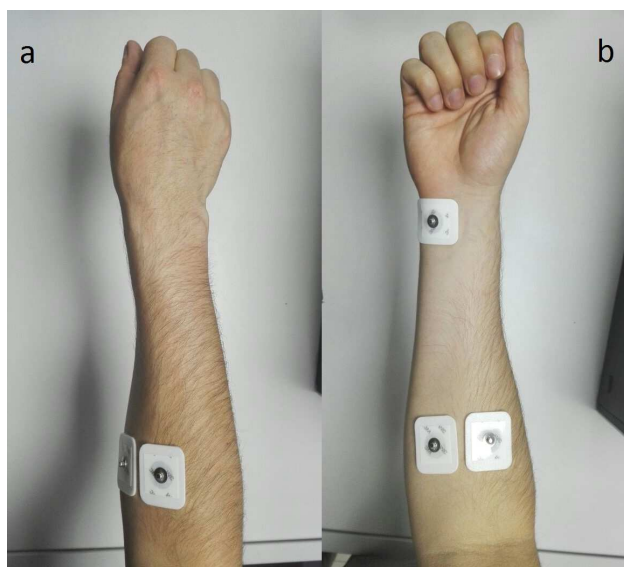


Fig. 1. (a) Posición de cruce interno de los huesos del antebrazo, (b) Posición de no cruce interno de los huesos del antebrazo. Cuando se va de la posición (a) a (b) se dice que es un movimiento de supinación, y el movimiento opuesto se le conoce como pronación

En el presente estudio se analizaron las señales derivadas de los movimientos de supinación y pronación de la palma de la mano con el fin de sintonizar las reglas de un sistema de lógica difusa que posterior a la etapa de creación de las reglas difusas, selección de las funciones de membresía y análisis, identifique se forma rápida y acertada, el tipo de movimiento que ejecuta una persona por medio de su señal EMG, para que esta información alimente un mecanismo de control de un sistema electromecánico tipo exoesqueleto.

2 METODOLOGÍA

El presente documento describe la implementación de un sistema inteligente basado en lógica difusa, de reconocimiento o detección de la intención del movimiento a partir de señales EMG superficiales, con el fin de hacer una predicción sobre la intención del usuario con respecto a su actividad muscular, específicamente la intención en músculos en miembro superior por medio de la información de la actividad mioeléctrica, para los movimientos de pronación-supinación del antebrazo. Este sistema difuso (fig 1), se diseñó para que tuviese como entrada 4 parámetros relevantes de la muestra de la señal de EMG obtenidos de un rápido procesamiento posterior a la adquisición, los cuales son:

1. Promedio o nivel DC.
2. Nivel RMS "Root mean square" o energía de la señal.
3. Tiempo de duración de la señal con información relevante determinada a partir de un criterio de umbral de energía.
4. Frecuencia pico o componente frecuencial de mayor valor en el espectro de Fourier de magnitud.

Estos parámetros previamente mencionados son normalizados o ajustados a una escala de 0 a 1 debido a la variación que tiene los registros, ya sea por una potenciación o inhibición de las actividades neuromusculares o por variaciones de fuerza del paciente en medio del registro. La normalización del valor DC y del RMS se hicieron a partir del valor pico o máximo en tiempo, teniendo cuidado de que no fuese 0 este valor. La normalización del tiempo de duración se hizo dividiendo por el ancho de tiempo de todas las muestras el cual es una constante equivalente a 2 segundos, y finalmente la frecuencia de muestreo no se normalizó debido a que esta es una constante respecto a todos los registros y además se observó su utilidad de estar expresada en Hertz "Hz" para las fases iniciales de diseño de los filtros. Una única salida que corresponde a una cuantificación del grado de intención de movimiento inferida por el sistema difuso.

Para la forma de los conjuntos difusos se hizo una búsqueda en la literatura para escoger la mejor forma de los conjuntos, pero este dilema sigue siendo discutido en muchas investigaciones y resuelto hasta ahora con la afirmación de que para cada aplicación un conjunto generara más ventajas que otros. Por lo tanto, se decidió analizar que formas de conjuntos serían más convenientes en esta aplicación, donde se estudiaron dos: las primeras formas son con trazos rectos: triangulares y trapezoidales; las segundas son con trazos curvos: gaussianas y campanas. En este informe se detallará una breve comparación de los resultados obtenidos con ambas formas.

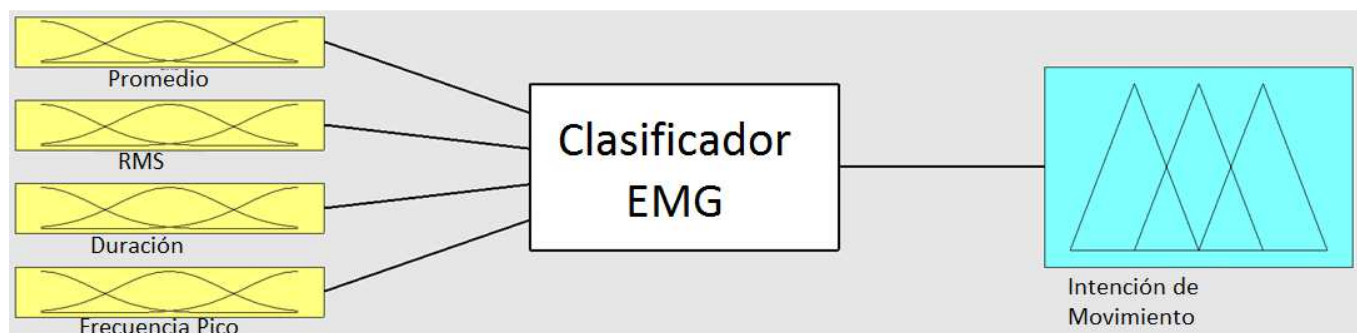


Fig. 2. Diseño del sistema difuso en el editor gráfico de Matlab

De los parámetros obtenidos de la señal EMG, 3 son el dominio del tiempo y 1 en el dominio de frecuencia, pero todos de fácil obtención, la toma de datos se realizó en 20 pacientes por medio de electrodos superficiales configurados en conexión bipolar como se muestra en la fig 2, en la cual se emplean 2 puntos de captura de voltaje con el fin de eliminar el ruido en modo común presente en el registro.

Se colocaron estos dos electrodos en el musculo pronador redondo en el antebrazo derecho, debido a que, en el movimiento de pronación, este musculo tiene mayor implicación que los otros presentes en el antebrazo. Se pidió a los participantes mantener el brazo al aire, evitando cualquier tipo de apoyo en otras partes del cuerpo o en elementos externos, decisión tomada en función al ruido inducido en las pruebas en iniciales en las que se permitió esta clase de apoyo.

El movimiento de pronación fue realizado por los pacientes cada 4 segundos, intercalado con un movimiento de supinación a los dos segundos, el movimiento fue periódico por un rango de 1 minuto. En cada registro de 1 minuto hay

tanto 15 movimientos de pronación como de supinación, para un total de 20 registros de donde se obtienen un consolidado de 600 muestras para analizar.

El diseño propuesto consta esencialmente de cuatro etapas fig 2, la primera, una etapa análoga de amplificación; la segunda corresponde a una etapa de filtrado para remoción de ruido consistente en señales de muy alta y baja frecuencia sin información relevante; la tercera etapa es una digitalización de la señal EMG realizada por un microcontrolador el cual posteriormente envía datos a la última etapa, correspondiente a un PC correspondiendo, para su procesamiento y reconocimiento por parte del sistema inteligente.

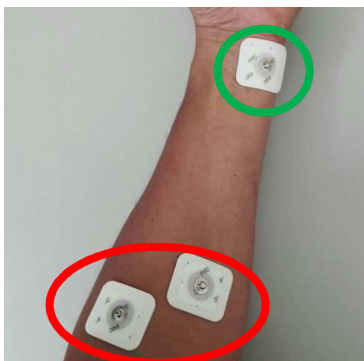


Fig. 3. Disposición de los electrodos. En rojo 2 electrodos sobre la parte gruesa del musculo en configuración bipolar correspondiente a una distancia del 30% de largo del antebrazo desde la articulación proximal o codo, y en verde 1 electrodo de referencia colocado en una parte lejana donde se asume que la actividad eléctrica del musculo a registra es casi nula.

Para la amplificación se usó un amplificador de instrumentación con rechazo en modo común de 120 dB, configurado en una ganancia de 100 y alimentado con fuente dual con referencia a tierra. Adicionalmente se implementó una ganancia de 5, para tener una mejor resolución de la señal al ser analizada, con un amplificador operacional en configuración de no inversor.

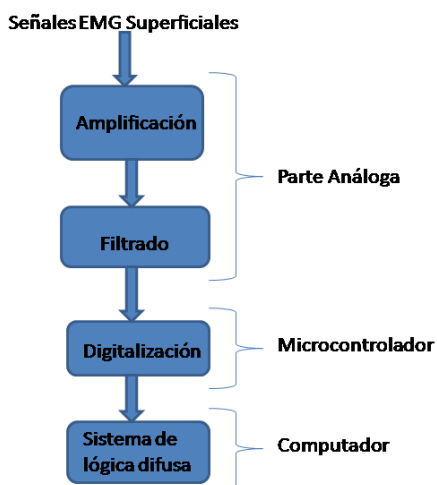


Fig. 4. Esquema general del diseño propuesto

En la parte de filtrado se usó un filtro “notch” de 60 Hz de segundo orden y un filtro pasabanda activo de orden 1 con un rango de paso de 0.5 a 200 Hz, donde se buscaba dejar pasar las frecuencias que más llevan la energía de las señales EMG correspondientes al rango de 50 a 150 Hz [2] pero dejando un rango de movilidad en frecuencia para jugar con los filtros digitales y evaluar su desempeño. Se usaron filtros digitales en Matlab® para mejorar la relación señal ruido (SNR), un filtro “notch” adicional de 60 Hz para minimizar aún más la perturbación de la red eléctrica, y un filtro pasabanda de 50 a 150 Hz que corresponde al mejor rango de información para las señales de EMG [5].

La digitalización se hizo empleando un microcontrolador PIC18F4550 que permitió una codificación de la señal en 10 bits de resolución. Se configuro una frecuencia de muestreo de 400 Hz la cual cumple con el criterio del teorema del muestreo de

Shannon-Nyquist, aparte se tuvo cuidado de no dañar el microcontrolador con la introducción de valores negativos a este, por lo tanto, se montó la señal que va ser digitalizada en un valor DC que posteriormente se removería con los filtros digitales.

Los datos obtenidos son enviados al sistema computacional a una velocidad de 19200bps, valor elegido por cumplir con la restricción dada en la Ec 1, que a su vez es la mínima que no genera latencias considerables en el proceso. Para esto se tuvo en cuenta que la transmisión se hace solo en Bytes, por lo tanto, si se quiere transmitir cada dato de 10 bits se requiere de 2 Bytes, dando una resolución de 16 bits a una frecuencia de muestreo (f_s) de 400 Hz, finalmente en el cálculo de la rata de baudío o velocidad de transmisión se debe escoger una velocidad estándar o predefinida en algunos programas, por encima de la calculada con los parámetros previos con un buen factor de seguridad por ejemplo 2.

$$\text{Baud Rate} = f_s * \text{resolución} \quad \text{Ec. 1}$$

$$\text{Baud Rate} = 400 * 16 = 6400$$

Finalmente, en un PC se reciben los datos donde un programa realizado en Matlab® cumple las siguientes tareas:

1. Segmentación: Debido a que es un registro largo donde hay varias muestras de los movimientos de pronación y supinación, donde se ubicaba los movimientos relevantes haciendo ventanas de 2 segundos y se dividían en 2 grupos correspondientes a los diferentes movimientos.
2. Filtrado: Se realiza un filtrado pasabanda y un parabanda “notch” a la señal para obtener una mejor relación SNR y principalmente remover los artefactos de movimiento y la perturbación de la red eléctrica [6].
3. Armonización: Debido a la gran variación en la señal principalmente su gran cantidad de cruces por cero principalmente por todavía ruido presente, entonces se realizó un recorrido por toda la muestra con una ventana relativamente pequeña para el cálculo del promedio RMS en esa ventana y remplazar el dato original, obteniendo una nueva muestra con una curva más suave conocida como la envoltura RMS [7].
4. Parámetros en tiempo: Se calcula el nivel DC, RMS y el tiempo de duración de la señal por medio de su envoltura RMS.
5. Parámetro en frecuencia: Se obtiene la frecuencia pico por medio de la FFT de la muestra y un recorrido en el espectro de magnitud.
6. Evaluación en el sistema difuso: Ya obtenidos los 4 parámetros son llevados y evaluados en el sistema difuso, para que este por medio de una evaluación numérica determine el grado de intención de movimiento en la muestra de EMG.

Para el diseño y validación del sistema difuso se tomó la totalidad de las muestras y se dividieron en 2 grupos de forma aleatoria: un grupo correspondiente al 70% se analizó estadísticamente por medio de histogramas para el diseño de los conjuntos difusos, las reglas del sistema o base de conocimiento; el segundo grupo correspondiente al 30% se dejó al final como datos de validación donde se tomaron para estudiar la efectividad del sistema.

3 RESULTADOS

Como parte importante se debe observar si los datos de entrada corresponden a muestras fieles de señales EMG, para lo cual se graficaron y se compararon visualmente fig 5, ya avaladas las muestras se procesaron con filtros digitales, funciones de cálculo de media, RMS y transformada de Fourier en Matlab fig 6. Para la obtención del tiempo de duración es importante armonizar la señal con una envolvente RMS que genere buenos resultados al minimizar la presencia de artefactos y ruido en la señal.

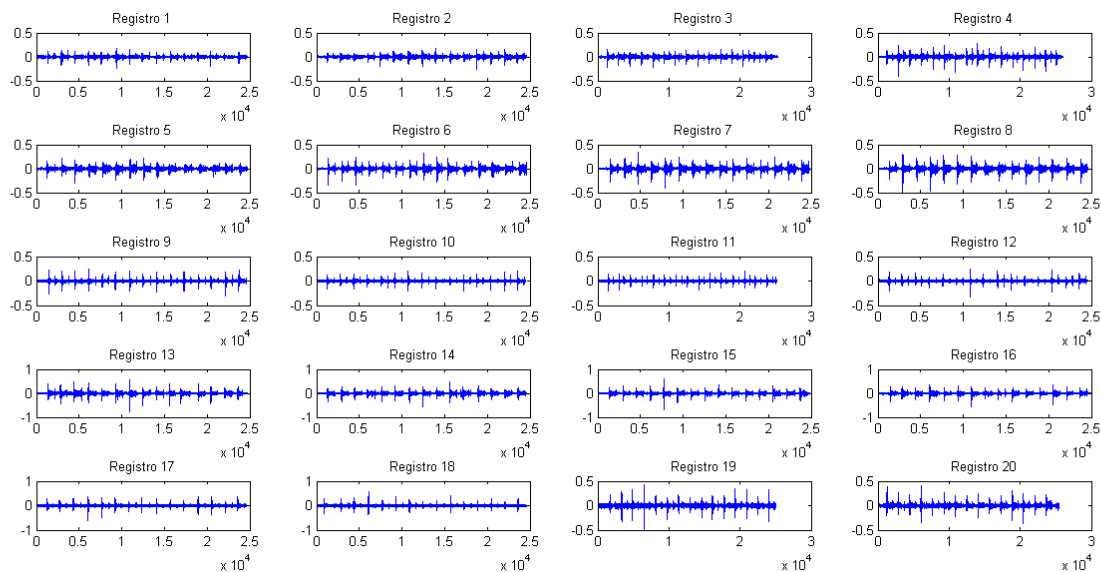


Fig. 5. Registros de los pacientes donde se observa la separación casi equidistante de los movimientos de pronación y supinación en la duración de los registros.

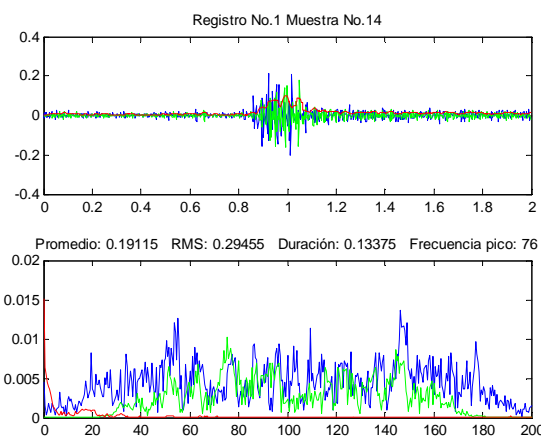


Fig. 6. Análisis de una muestra de EMG de movimiento de pronación. En la parte superior el análisis en el dominio del tiempo: señal original (azul), señal filtrada (verde) y señal armonizada (rojo). En la parte inferior el análisis en el dominio de la frecuencia: espectro original de la señal (azul), espectro de la señal filtrada (verde) y espectro de la señal armonizada (rojo).

Como parte importante del diseño de los conjuntos difusos se necesita conocer no solo sus formas sino sus fronteras para lo cual se obtuvieron al analizar los histogramas de los parámetros obtenidos fig 7 y fig 8, donde después de un análisis detallado se definieron unas fronteras iniciales que fueron evaluadas y ajustadas detenidamente con los datos destinados para el diseño.

Ya con los parámetros obtenidos se evaluaron con dos sistemas difusos que disponían de las mismas reglas, pero diferían en la forma de sus conjuntos, uno con funciones triangulares y trapezoidales fig 9, y el otro con funciones gaussianas, campanas y de tipos S y Z fig 10. Para evaluar la salida de estos sistemas se hizo un análisis con histogramas donde definido un valor umbral fig 11 y fig 12, el cual se tomó como 0.6, se analiza el porcentaje de aciertos y desaciertos con el conjunto de muestras de validación y que contienen datos de movimientos de pronación y de supinación.

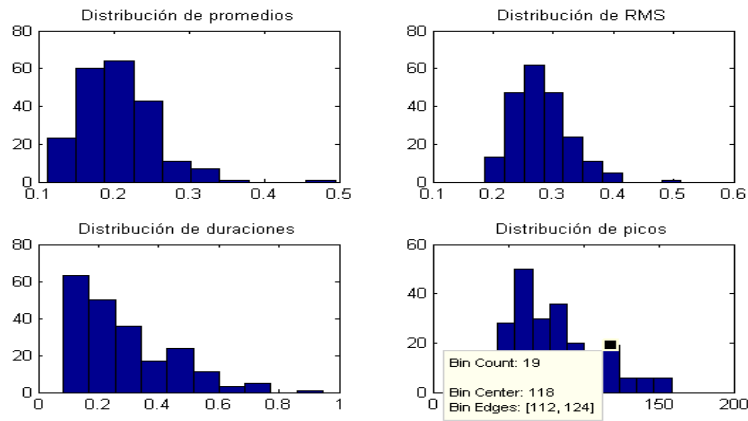


Fig. 7. Histograma de los parámetros obtenidos para las muestras de los movimientos de pronación

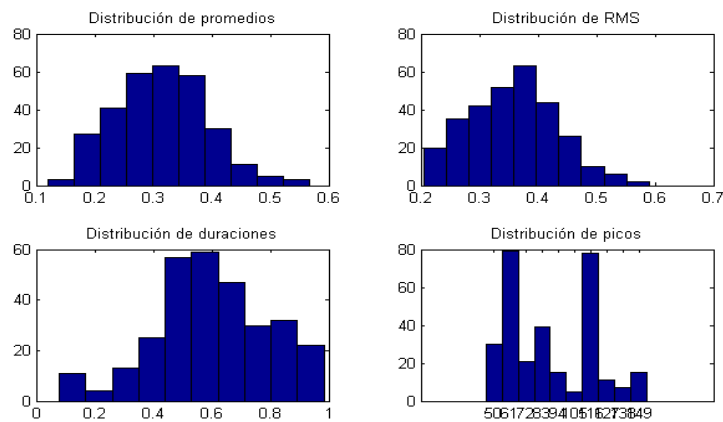


Fig. 8. Histograma de los parámetros obtenidos para las muestras de los movimientos de pronación

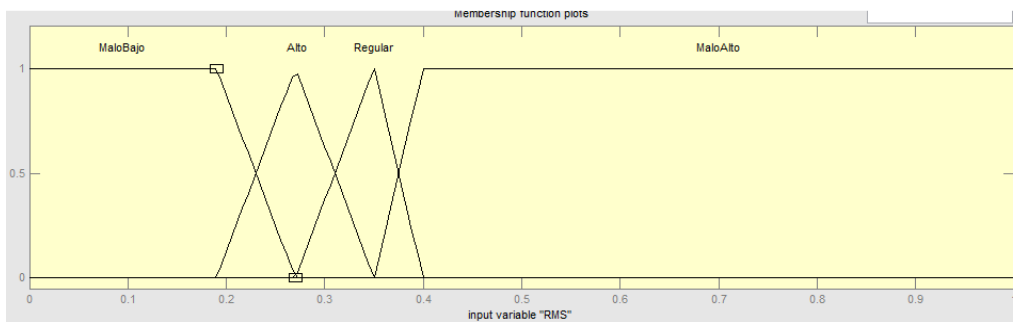


Fig. 9. Forma de los conjuntos difusos para la entrada del parámetro RMS usando conjuntos de trazos rectos

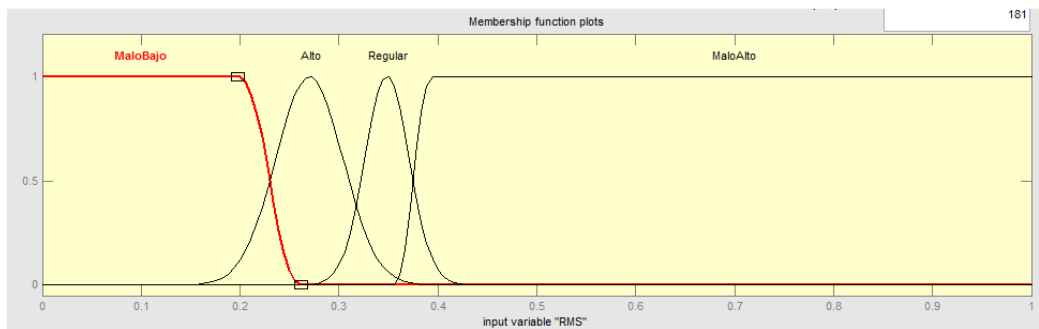


Fig. 10. Forma de los conjuntos difusos para la entrada del parámetro RMS usando conjuntos de trazos curvos

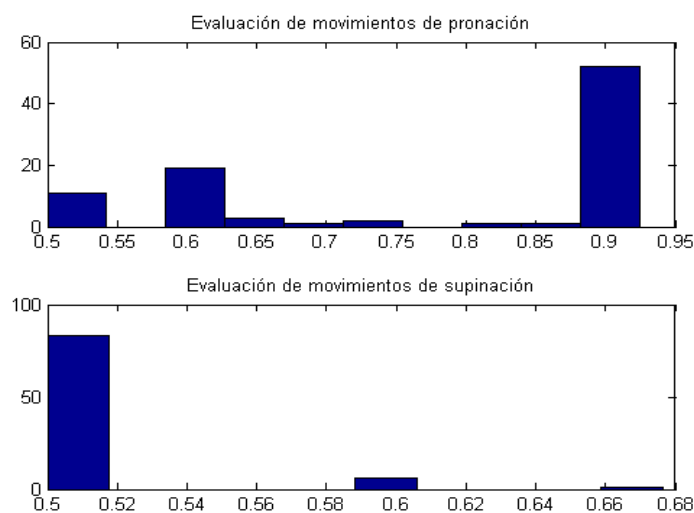


Fig. 11. Histograma de los datos evaluados con el conjunto difuso de trazos curvos.

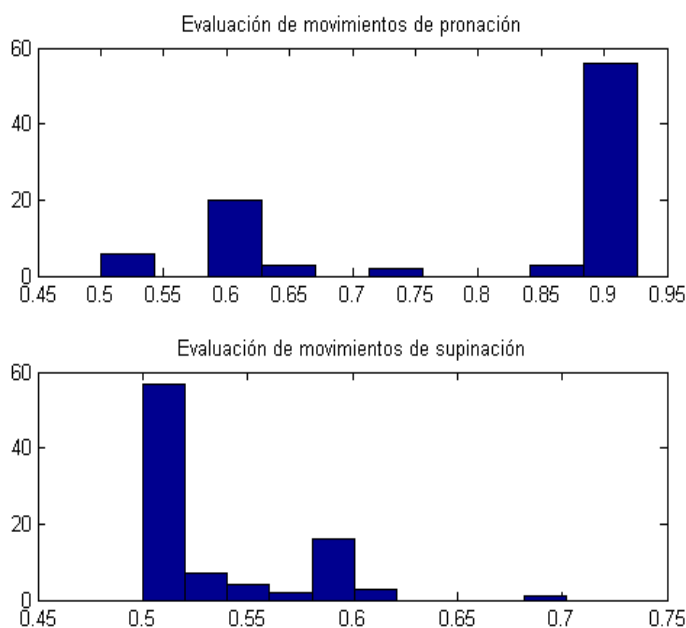


Fig. 12. Histograma de los datos evaluados con el conjunto difuso de trazos curvos.

4 CONCLUSIÓN

Se observa comportamientos muy similares en los dos sistemas difusos cumpliéndose la meta de una efectividad del 80%, y debido a que arrojan resultados no muy diferentes es de más utilidad el sistema difuso de trazos rectos debido a que el costo computacional de cálculo es mucho menor al solo calcular valores en líneas rectas. La tasa de efectividad se cumplió con el objetivo propuesto, pero puede ser mejorada con el uso de sistemas difusos de tipo 2 sin la necesidad de implementar más reglas que harían el sistema más lento y rígido.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo es apoyado por el proyecto ING-2135 soportado y financiado por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad Militar Nueva Granada en Bogotá, Colombia.

REFERENCIAS

- [1] R. Desai and F. Lin, « Medical Diagnosis with a Kohonen LVQ2 Neural Network (PDF Download Available),» 1 Agosto 2014.
[On line] Available:
https://www.researchgate.net/publication/237738026_Medical_Diagnosis_with_a_Kohonen_LVQ2_Neural_Network.
(26 May 2016)
- [2] A. K. L. O. H. Horia-Nicolai L. Teodorescu, "Report of research activities in fuzzy AI and medicine at USF CSE," *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 21, no. 1-3, pp. 177-183, 2001.
- [3] s. d. / . l. ©. 2. S. E. Inc et u. c. l. u. c. b.-s. 3. w. a. required, «tikz pgf - Draw a Kohonen SOM feature map? - TeX - LaTeX Stack Exchange,» TEX, 2016. [En ligne]. Available: <http://tex.stackexchange.com/questions/144366/draw-a-kohonen-som-feature-map>. (30 June 2016).
- [4] L. J. Hargrove, K. Englehart and B. Hudgins, "A Comparison of Surface and Intramuscular Myoelectric Signal Classification," *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING*, pp. VOL. 54, NO. 5, 2007.
- [5] H. A. Romo, J. C. Realpe and P. E. Jojoa, "Análisis de Señales EMG Superficiales y su Aplicación en Control de Prótesis de Mano," vol. 14, no. 1, 2007.
- [6] G. Choi and Y. Jang, "EMG-based Continuous Control Method for Electric Wheelchair," 2014.
- [7] J. A. García-Pinzón, L. E. Mendoza and E. G. Flórez, "Control de brazo electrónico usando señales electromiográficas," vol. 24, no. 39, 2015.
- [8] G. A. BETANCOURT O., E. GIRALDO SUÁREZ and J. F. FRANCO B., "RECONOCIMIENTO DE PATRONES DE MOVIMIENTO A PARTIR DE SEÑALES ELECTROMIOGRÁFICAS," vol. 10, no. 26, 2004.

ACARDIAC HEADLESS TWIN: CASE REPORT AND LITERATURE REVIEW

Mohammed BHIHI, Najia ZERAIDI, Clementine UWIZEYEMARIYA, Imane ELKARI, Mountasser ELBOUZIDI, Jamal ELAZZAOU, Abdelaziz BAIDADA, and Aicha KHARBACH

Department of Gynecology and Obstetrics, Souissi Maternity,
Ibn Sina University Teaching Hospital,
Mohamed V University, Rabat, Morocco

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

ABSTRACT: The fetus acardiac headless is a rare anomaly characteristic of twin monochromic pregnancies. Its frequency is 1/35000 births. Its evolution is constantly lethal for the affected fetus. The healthy fetus is exposed to a high risk of death in utero or complications. Among the different pathophysiological theories proposed, only the vascular theory is retained. Arterio - arterial and venous anastomoses are the source of vascularization against the current TRAP syndrome (Twin Reversed Arterial Perfusion disorder) of the abnormal fetus which receives the desaturated blood of oxygen and low in nutrients from healthy fetus.

KEYWORDS: acardiac headless, twin, fetus.

1 INTRODUCTION

The monochorionic twin pregnancies are characterized by the presence of vascular connections between the twins. These can be at the origin of pathologies as "Twin Reversed Arterial Perfusion Syndrome" which is defined as the combination of an acardiac, headless and a healthy twin. [1] This syndrome is very rare and is associated with high mortality of healthy twin anemia and heart failure. Antenatal diagnosis is possible for the establishment of appropriate monitoring and therapeutic means to interrupt the vascular anastomoses between the twins in order to achieve a selective feticide. Obstetric management varies between abstentionism and interventionist attitude that depends on the healthy twin prognosis dominated by prematurity and heart failure. We report a case of twin acardiac headless diagnosed during cesarean section which was done to the patient who was poorly followed during her pregnancy.

2 CASE PRESENTATION

Here we present a 25 years old female patient, gravida 1, Para 1, without medical or surgical history admitted in our department in labor. The patient was not followed during her pregnancy. She was transferred from a health center for better management of an obstructed labor.

On admission, Blood pressure was 120/70 mm Hg, pulse = 84 bpm, T^o = 37.3°C, weight = 69kg, height = 162 cm.

On obstetrical examination fundal height was = 32cm, Uterine Contractions present, fetal heart beat present with severe bradycardia for the first twin, the other twin there was no cardiac beat. On vaginal examination, the patient was at full dilation, but the presentation was not engaged.

The ultrasound was not done because there was a technical problem.

The cesarean section was indicated in emergency and the patient was quickly sent in operating room.

The cesarean section was performed without complications, and the first born was extracted by cephalic extraction, and was in posterior variety, with a tight circular cord APGAR 8-10-10 birth weight 3360 grams. The second one, was a abnormal

female fetus, without the head, 2 small legs (Fig1, Fig2), a small chest, two drafts of the upper limbs, a right side blank and an umbilical cord unrelated to the placenta in contrast to that of the healthy twin that fits the placenta. We note the presence of anastomoses with the vessels of malformed twin.

We note the presence of anastomoses with the vessels of malformed twin. Microscopic examination of the membranes of the cord and the placenta reveals no particular anomaly. Pathological examination of the fetus malformed confirmed the diagnosis of twin acardiac and headless weighing 830 grams measuring 16cm. The two legs each have a foot of 5cm.



Fig. 1. Acardiac and headless twin (anterior view)

Fig 2: Posterior view

3 DISCUSSION

The acardiac headless twin is a very rare malformation which is found in monozygotic mono-amniotic pregnancies rarely bi-amniotics where acardiac twin is not vascularized by the placenta but by his twin through an umbilical artery against the current [2]. This phenomenon is called TRAP syndrome (twin reverse arterial perfusion) which is a special form of TTS syndrome where the normal fetus as donors giving blood for himself and for the recipient who is acardiac twin. Venous return is via the umbilical vein of normal twin [1-2]. Deoxygenated blood from the donor pass directly with low pressure into the twin acardiac instead of returning to the placenta [2]. This is the cause of the interruption of organogenesis, which generating abnormal cephalic pole members and abdominal organs. The incomplete morphogenesis including the fetal circulatory system would be explained by the reversal of blood flow [3]. The infusion of acardiac fetus is against the current by desaturated blood oxygen at low pressure from an umbilical artery more often single (50%). The incidence of this syndrome is estimated at 1/35000 births and affects approximately 1% of monozygotic twin pregnancies. [4] An abnormal karyotype was found in 50% of cases that could not be achieved in our observation.

The diagnosis is most often posed by prenatal ultrasound found that a twin pregnancy with severe malformations of the twins. The Doppler can show the level of the umbilical artery of twin acardiac a stream with an abnormally high resistance. In contrast, pregnancy outcome seems to be better correlated with the difference in resistance indices between the two twins.

The diagnosis is most often posed by prenatal ultrasound which finds that there is a twin pregnancy with severe malformations of the fetus. The Doppler can show the level of the umbilical artery of twin acardiac a stream with an abnormally high resistance. In contrast, pregnancy outcome seems to be better correlated with the difference in resistance indices between the two twins.

The diagnosis should be retained in certain abnormalities but not specific: anencephaly, the absence of facial bones, holoprosencephaly, anophthalmia, the diaphragm atresia, the absence of limbs or rudimentary limbs, the absence of chest and acardiac the esophageal atresia, absence of liver and gallbladder, single umbilical artery and skin edema. While in the twin pump can be signs of heart failure in type of ascites, pleural effusion, skin edema or hydramnios [1-8].

The differential diagnosis is fetal death in-utero of a normal twin, anencephalic or associated with a large cystic hygroma, a placental tumor or intra-amniotic and a bi-amniotic pregnancy by treating the skin of an acardiac as in hydrops inter-amniotic membrane. The definitive diagnosis must therefore appeal to the color and pulsed Doppler showing retrograde perfusion of acardiac twin.

To ensure the infusion of acardiac fetus, its healthy co-twin provides significant cardiac stress with increased risk of premature delivery, intrauterine growth restriction, cardiomegaly, heart failure or even hydrops fetalis. The mortality rate the healthy twin varies between 50% and 75% explained by the significant effort required to myocardial perfusion two fetuses [5]. The prognosis of healthy twin depends on the pulsatility index in umbilical artery infusing the fetus acardiac and size. If acardiac twin weighs less than 25 % of the weight of the donor, evolution is often favorable as is the case of our publication.

The treatments which is proposed is to interrupt the vascular communications between the two twins, selective feticide, endoscopic laser coagulation ultrasound guided , selective reduction of the twin acardiac radiofrequency at the umbilical cord or coagulation at the clamp the umbilical cord acardiac fetus [6-7] .

If acardiac twin is small, an ultrasound monitoring is necessary in search of complications in healthy twin .Otherwise, if it is big or it quickly grows, invasive treatment is required by coagulation or by interruption radiofrequency the abdominal aorta or its acardiac pelvic vessels.

4 CONCLUSION

The twin acardiac headless is an extremely rare and special shape of the to-twin transfusion syndrome complicating monochorionic twin pregnancy. Prenatal diagnosis is based on ultrasound coupled with color and pulsed Doppler. The mortality rate of the healthy twin by heart failure remains high and hence the interest of a close monitoring. The treatments offered so far are intended to interrupt the vascular communications between the two co-twins to achieve selective feticide.

REFERENCES

- [1] Guigue V, Schwetterle F, Arbez-Gindre F. Un cas de jumeau acardiaque acéphale et revue de la littérature. *J Gynecol Obstet Biol Reprod* 2007 ; 36 :235-326.
- [2] Coulam CB, Wright G. First trimester diagnosis of acardiac twins. *Early Pregnancy* 2000; 4(4):261-70.
- [3] Torres Brrego J, Guzman Cabanas J, Arjona Berral JE, Acosta Collado A, Romanos Lezcano A. Acardius acephalus. Description of a case. *An Esp Pediatr* 2000 ; 53(4) :346-9.
- [4] Faguer C, Bonan J, Milliez N, Migne G. Fœtus acardiaque. *Presse Med* 1996 ; 25 :1191-4.
- [5] Rajesh B, Mahadhevan B, Rao S , Bhat VB. Acephalus acardiac foetus. *Indian J Pediatr* 2004; 71 (10):948.
- [6] Seeds JW, Herbert WN, Richards DS. Prenatal sonographic diagnosis and management of a twin pregnancy with placenta praevia and hemicardia. *Am J Perinatol* 1987; 4(4):313-6.
- [7] Hecher K, Reinhold U, Gbur K, Hackeloer BJ. Interruption of umbilical blood flow in an acardiac twin by endoscopic laser coagulation. *Geburtshilfe Frauenheilkd* 1996; 56(2):97-100.
- [8] Baron M, Verspyck E, Diguët A, et al. Sémiologie échographique du fœtus acardiaque au premier trimestre de la grossesse . *J Gynecol Obstet Biol Reprod (Paris)* 2000 ; 29 :684-6.

Détermination de quelques conditions optimales de réalisation de micro-diagnostic latex chez l'hévéa (*Hevea brasiliensis* Mull. Arg.) cultivé en Côte d'Ivoire

[Determination of some optimal conditions of latex micro- diagnosis achievement in rubber (*Hevea brasiliensis* Mull. Arg.) cultivated in Côte d'Ivoire]

Christophe Bini Yao ADOU^{1,2}, Eric Francis SOUMAHIN², Hilaire Tanoh KOUAKOU¹, Jean-Lopez ESSEH^{2,3}, Guy Joël Olivier AT SIN², and Samuel OBOUYEBA²

¹Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences de la Nature, Laboratoire de Biologie et Amélioration des Productions Végétales, 01 PB 801 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

²Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), station de Recherche de Bimbresso, 01PB 1536 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

³Université Félix Houphouët-Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des ressources Minières, Laboratoire de Pédologie, Abidjan, 22 PB 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: The physiological parameters of latex micro-diagnosis, operation for determining the physiological state of the rubber production system is subject to seasonal fluctuations. These parameters are likely to be influenced by climate change and the retention period of latex and serum TCA, separately. Thus, working to determine optimal conditions for the realisation of this diagnosis were conducted in Côte d'Ivoire. Relatively to the retention periods of serum TCA on the stability of physiological parameters, measurement parameters were done 4, 8, 12, 24, 48 and 72 h after harvesting latex at field. About the seasonal parameters evolution, measuring of physiological parameters were performed 4 h as before, corresponding the days of trees bleeding, during the period ranging from October to December 2013. The results obtained showed that the latex samples taken in October (period of low volatility of physiological parameters) and conservation of latex and serum TCA or less on time for 4 h constitute the optimal conditions for achieving latex micro-diagnosis from *Hevea brasiliensis* in Côte d'Ivoire.

KEYWORDS: physiological parameters, serum TCA, dry rubber content, sucrose, inorganic phosphorus, thiol groups.

RESUME: Les paramètres physiologiques du latex servant à réaliser le micro-diagnostic latex, outil de détermination de l'état physiologique de fonctionnement du système de production de l'hévéa, connaissent des fluctuations saisonnières. Ces paramètres sont susceptibles d'être influencés par le changement climatique et le délai de conservation du latex et du sérum-TCA, séparément. Ainsi, des travaux permettant de déterminer des conditions optimales à la réalisation de ce diagnostic ont été conduits en Côte d'Ivoire. Relativement aux délais de conservation du latex et du sérum-TCA sur la stabilité des paramètres physiologiques, la mesure de ceux-ci a été faite 4, 8, 12, 24, 48 et 72 h après les prélèvements de latex au champ. Quant à l'instabilité saisonnière de ces paramètres, la mesure a été effectuée 4 h comme précédemment, conformément aux jours de saignée, d'octobre à décembre 2013. Les résultats obtenus ont montré que les prélèvements de latex effectués en octobre (période de faible instabilité des paramètres physiologiques) et la conservation du latex et du sérum-TCA dans un délai inférieur ou égal à 4 h, constituent les conditions optimales de réalisation de micro-diagnostic latex chez *Hevea brasiliensis* en Côte d'Ivoire.

MOTS-CLEFS: paramètres physiologiques, sérum-TCA, sérum-TCA, extrait sec, saccharose, phosphore inorganique, groupements thiols.

1 INTRODUCTION

La gestion de plantation d'hévéa en production est de plus en plus modernisée avec l'outil de prévision de risque physiologique et d'orientation des systèmes de récolte du latex qu'est le Micro-Diagnostic Latex (MDL) [1]. Le MDL qui permet de déterminer l'état physiologique du système de production de caoutchouc est un outil d'exploitation moderne, durable et optimale de l'hévéa [2], [3]. En effet, il permet d'identifier les plantations selon qu'elles sont exploitées en deçà ou au-delà du niveau normal et ainsi, d'appliquer un système de récolte du latex (peu intensif, modéré et très intensif) adapté [4]. Mis au point, il est basé sur quatre paramètres physiologiques que sont l'extrait sec (ExS), le saccharose (Sac), le phosphore inorganique (Pi) et les groupements thiols (R-SH) [5], [6], [7]. Cet excellent outil de prévision de l'état physiologique de l'hévéa présente de nombreux avantages. Cependant, des variations saisonnières ont amené à déterminer une période de prélèvement du latex pendant laquelle les paramètres du MDL sont stables et fiables [1]. Celle-ci s'étend sur le dernier trimestre de l'année.

Toutefois, les changements climatiques observés ces dernières années et caractérisés par les variations saisonnières [8], doivent être pris en compte. Ainsi, la présente étude a pour objectif de déterminer quelques conditions optimales de stabilité des paramètres physiologiques du latex chez *Hevea brasiliensis*. Elle permettra de mieux cerner l'influence du changement climatique sur la stabilité des paramètres physiologiques dans la réalisation du MDL. De plus, cette étude devra déterminer la période idéale de prélèvement du latex de même que sa durée optimale de conservation et celle du sérum-TCA (acide trichloroacétique) pour une réalisation efficace du MDL.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL VEGETAL

L'expérimentation a été réalisée sur le site expérimental de la station de recherche du CNRA à Bimbresso situé à Anguédédou, dans le sud-est de la Côte d'Ivoire. Le matériel végétal est composé de trois clones (PB 217 ; RRIC 100 et PB 255) de *Hevea brasiliensis* appartenant respectivement aux classes d'activité métaboliques lente ou faible ; intermédiaire ou modéré ; rapide ou élevée.

Le PB 217 est originaire de la Malaisie et a pour parents femelle PB 5/51 et mâle PB 6/9. Il est vigoureux et très hétérogène. Sa production moyenne progresse constamment ; ce qui fait de ce clone un haut producteur. Ses caractéristiques se traduisent par des réserves glucidiques importantes ainsi que des teneurs en thiols élevées.

Le RRIC 100 est originaire de Sri Lanka (*Rubber Research Institute of Ceylan* ou RRIC) et issu du croisement RRIC 52 x PB 86. Sa vigueur immature est importante avec une hauteur modérée, de grosses feuilles rondes et de très grosses graines. Ce clone subit une défoliation précoce et un dessèchement de l'extrémité des grosses branches vers l'âge de 10 ans. De nombreux rejets apparaissent sur ces branches atteintes et se forme ainsi une couronne de touffes. Son profil physiologique présente un faible taux de thiols (R-SH).

Le PB 255 est originaire de Malaisie (*Prang Besar* ou PB) et issu du croisement PB 5/51 x PB 32/36. Son coagulum est spongieux et ses graines sont en forme de ballon de rugby quand on regarde de profil. Il est sensible au *Colletotrichum* et à l'encoche sèche, mais résistant à la casse due au vent [9]. Son feuillage qui est plutôt jaunâtre et assez souvent malade subit une défoliation précoce et totale. Le tronc est quelque fois déformé (ovale) et pousse en zigzag.

Chacun des trois clones choisis est planté à la densité de 555 arbres/ha (6m x 3m) sur une parcelle monoclonale de superficie égale à 6,25 ha

2.2 METHODES

2.2.1 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental adopté est un "one tree plot design" dans lequel chaque hévéa sélectionné constitue une répétition. Ce dispositif est soumis à un traitement de cinq arbres par parcelle (clone). Les prélèvements de latex, issus de cinq arbres sélectionnés par parcelle et saignés en quart de spirale remontant tous les quatre jours, avec un jour de repos (le dimanche) dans la semaine, 12 mois sur 12 (S/4U d4 6d/7 12 m/12), ont constitué le seul traitement. Les paramètres physiologiques ont été évalués sur deux essais :

➤ Essai 1 : Détermination de période idéale de prélèvements de latex.

La mesure des paramètres physiologiques du latex a été effectuée tous les quatre jours conformément aux jours de saignée et la valeur moyenne a été retenue. Cette expérimentation a duré d'octobre à décembre 2013 (dernier trimestre de l'année), période pendant laquelle les feuilles d'hévéa ont atteint leur maturité physiologique et est, par conséquent, la plus propice à la réalisation du MDL. Les caractéristiques de ces mois, en fonction de la saison climatique, sont consignées dans le tableau 1. Le mois pendant lequel la stabilité des paramètres physiologiques a été plus stable, a été choisi comme étant la période idéale de prélèvements de latex.

Tableau 1: Valeurs météorologiques

Paramètres météorologiques	Périodes de prélèvements		
	octobre	novembre	décembre
Pluviométrie (mm)	88,81 c	207,15 a	127,92 b
Température (°C)	26,80 a	26,82 a	26,81 a
Hygrométrie (%)	85,68 a	88,60 a	87,63 a

Dans chaque paramètre météorologique, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes (test de Duncan à 5 %)

➤ Essai 2 : Détermination de délai idéal de conservation du latex et du sérum-TCA.

Après extraction des paramètres physiologiques, la mesure de ceux-ci a été faite à délais de 4, 8, 12, 24, 48 et 72 h après prélèvement de latex au champ. Le délai pendant lequel la stabilité des paramètres physiologique a été plus stable, a été choisi comme étant le délai idéal de conservation du latex et du sérum-TCA, séparément, pour une réalisation optimale du MDL.

2.2.2 MESURE DES PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES DU LATEX

La détermination du taux d'extrait sec a été faite selon la méthode décrite par Eschbach *et al.* [5], tandis que les teneurs en saccharose, phosphore inorganique et groupements thiols ont été obtenues, respectivement selon Ashwel [10], Tausky et Shorr [11] et Boyne & Ellman [12].

2.3 ANALYSES STATISTIQUES

Les données de micro-diagnostic latex (MDL) ont été soumises à une analyse de variance à l'aide du logiciel XLSTAT 7.5.3. Le niveau de signification des différences entre les moyennes a été estimé par le test de Duncan au seuil de 5 %. Aussi, le test de Kruskal-Wallis a été réalisé dans le but de déterminer les différences significatives ($P < 0,05$) entre les taux d'extrait sec. Une comparaison de variances par rapport aux différentes périodes de prélèvements en vue de classer les périodes en fonction de la stabilité des paramètres physiologiques du latex a été réalisée.

3 RESULTATS

3.1 EFFET DU DELAI DE CONSERVATION DU LATEX OU DU SERUM-TCA SUR L'EVOLUTION DES PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES

3.1.1 TAUX D'EXTRAIT SEC

Le tableau 2 montre que les taux d'extrait sec du latex sont très élevés quel que soit le clone et supérieurs aux valeurs référentielles. Les taux d'extrait sec du latex des clones PB 217, RRIC 100 et PB 255 n'ont pas subi de variations significatives durant les 72 h de conservation. Le clone RRIC 100 a eu les taux d'extrait sec, les plus faibles.

Tableau 2 : Taux d'extrait sec en fonction de la durée de conservation du latex

Durée de conservation (h)	Valeurs moyennes par clone (%)		
	PB 217	RRIC 100	PB 255
4	55,38 a	46,63 a	58,99 a
8	54,91 a	46,59 a	58,89 a
12	54,66 a	46,25 a	58,53 a
24	54,48 a	45,90a	58,24 a
48	54,06 a	45,58 a	57,81 a
72	52,52 a	43,95 a	56,08 a
Moyennes	54,33	45,82	58,09

Dans chaque colonne, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Kruskal-Wallis à 5 %)

3.1.2 TENEUR EN SACCHAROSE

Les valeurs expérimentales enregistrées dans le tableau 3 montrent que les teneurs en saccharose (Sac) du latex ont diminué progressivement sans toutefois présenter de différences significatives durant les 72 h de conservation du sérum-TCA pour chaque clone. Par ailleurs, le clone PB 217 a présenté les teneurs en saccharose du latex les plus élevées. Cependant, les clones RRIC 100 et PB 255 ont affiché les plus faibles teneurs en saccharose.

Tableau 3 : Teneurs en saccharose en fonction de la durée de conservation du sérum-TCA

Durée de conservation (h)	Valeurs moyennes par clone (mmol.l ⁻¹)		
	PB 217	RRIC 100	PB 255
4	10,63a	4,99 a	4,78 a
8	10,33 a	4,82 a	4,53 a
12	10,22 a	4,66 a	4,32 a
24	9,62 a	4,39 a	4,11 a
48	8,17 a	4,18 a	3,51 a
72	7,79 a	3,54 a	3,28 a
Moyennes	9,46	4,43	4,09

Dans chaque colonne, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Duncan à 5 %)

3.1.3 TENEUR EN PHOSPHORE INORGANIQUE

Les teneurs en phosphore inorganique (Pi) du latex ont été regroupées dans le tableau 4. L'analyse des résultats montre que les teneurs en Pi ont diminué progressivement sans toutefois présenter de différences significatives durant les 72 h de conservation du sérum-TCA pour chaque clone. Le clone PB 217 a présenté les teneurs les plus élevées en phosphore inorganique.

Tableau 4 : Teneurs en phosphore inorganique en fonction de la durée de conservation du sérum-TCA Inorganic phosphorus according to the shelf life of the serum TCA

Durée de conservation (h)	Valeurs moyennes par clone (mmol.l ⁻¹)		
	PB 217	RRIC 100	PB 255
4	11,61 a	11,55 a	16,29 a
8	11,34 a	11,48 a	15,76 a
12	11,19 a	11,09 a	15,42 a
24	10,83 a	11,03 a	14,48 a
48	10,44 a	9,65 a	13,77 a
72	10,44 a	9,29 a	13,54 a
Moyennes	10,97	10,68	14,87

Dans chaque colonne, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Duncan à 5 %)

3.1.4 TENEUR EN GROUPEMENTS THIOLS

L'analyse du tableau 5 montre que la teneur en groupements thiols (R-SH) chez les trois clones a diminué régulièrement, mais est restée stable entre 8 et 24 h de conservation puis a chuté pour devenir plus faible à partir de 48 h de conservation.

Tableau 5 : Teneurs en groupements thiols en fonction de la durée de conservation du sérum-TCA

Durée de conservation (h)	Valeurs moyennes par clone (mmol.l ⁻¹)		
	PB 217	RRIC 100	PB 255
4	0,57 a	0,27 a	0,53 a
8	0,52 b	0,23 b	0,47 b
12	0,51 b	0,22 b	0,45 b
24	0,49 c	0,20 b	0,41 c
48	0,43 d	0,13 c	0,34 d
72	0,42 d	0,11 c	0,34 d
Moyennes	0,49	0,19	0,42

Dans chaque colonne, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Duncan à 5 %)

3.2 EVOLUTION DES PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES DU LATEX AU COURS DES TROIS MOIS D'ETUDE

Les paramètres physiologiques ont été étudiés en octobre, novembre et décembre 2013.

3.2.1 TAUX D'EXTRAIT SEC DU LATEX

Le tableau 6 présente l'évolution des taux d'extrait sec (ExS) du latex des clones PB 217, RRIC 100 et PB 255. L'analyse de ce tableau montre que les taux d'extrait sec (ExS) du latex chez les trois clones n'ont pas subi de variation significative au cours de notre période d'étude.

Tableau 6 : Taux d'extrait sec du latex en fonction des périodes de prélèvements

Périodes de prélèvements	Numéros des arbres traités par clone	valeurs moyennes par clone (%)		
		PB 217	RRIC 100	PB 255
Octobre 2013	1	53,40 a	46,92 a	55,66 a
	2	54,46 a	45,40 a	56,98 a
	3	53,53 a	46,71 a	56,28 a
	4	54,07 a	46,37 a	56,67 a
	5	54,09 a	44,87 a	57,52 a
Novembre 2013	1	55,30 a	47,61 a	57,10 a
	2	56,76 a	45,12 a	57,76 a
	3	55,19 a	48,20 a	58,78 a
	4	55,03 a	49,55 a	60,34 a
	5	57,24 a	47,31 a	60,98a
Décembre 2013	1	54,98 a	46,93 a	61,36 a
	2	57,35 a	48,92 a	63,11 a
	3	56,46 a	47,84 a	61,33 a
	4	57,68 a	50,02 a	63,58 a
	5	55,86 a	49,03 a	60,26 a

Dans chaque colonne, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Duncan à 5 %)

3.2.2 TENEUR EN SACCHAROSE DU LATEX

L'évolution des teneurs en sucres du latex des clones PB 217, RRIC 100 et PB 255 est indiquée dans le tableau 7. L'analyse du tableau montre que, quel que soit le clone, les teneurs en saccharose ont été statistiquement identiques durant les trois mois de notre étude.

Tableau 7 : Teneurs en saccharose du latex en fonction des périodes de prélèvements

Périodes de prélèvements	Numéros des arbres traités par clone	Valeurs moyennes par clone (mmol.l ⁻¹)		
		PB 217	RRIC 100	PB 255
Octobre 2013	1	11,70 a	5,42 a	5,27 a
	2	11,30 a	5,22 a	5,10 a
	3	11,32 a	5,23 a	5,29 a
	4	11,04 a	5,29 a	5,01 a
	5	11,58 a	5,22 a	5,25 a
Novembre 2013	1	11,59 a	4,32 a	6,06 a
	2	10,89 a	5,02 a	4,88 a
	3	12,27 a	5,63 a	5,37 a
	4	12,25 a	4,98 a	5,32 a
	5	13,36 a	6,66 a	5,41 a
Décembre 2013	1	13,78 a	6,13 a	6,91 a
	2	13,32 a	6,10 a	6,44 a
	3	13,75 a	6,10 a	6,54 a
	4	13,34 a	6,39 a	6,30 a
	5	13,78 a	6,04 a	6,42 a

Dans chaque colonne, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de DUNCAN à 5 %)

3.2.3 TENEUR EN PHOSPHORE INORGANIQUE DU LATEX

Le tableau 8 présente l'évolution de la teneur en phosphore inorganique (Pi) du latex des clones PB 217, RRIC 100 et PB 255. L'analyse de ce tableau montre que, pour chaque clone, les teneurs en phosphore inorganique du latex n'ont pas subi de variation significative au cours de notre période d'étude.

Tableau 8: Teneurs en phosphore inorganique du latex en fonction des périodes de prélèvements

Périodes de prélèvements	Numéros des arbres traités par clone	Valeurs moyennes par clone (mmol.l ⁻¹)		
		PB 217	RRIC 100	PB 255
Octobre 2013	1	16,03 a	14,17 a	21,02 a
	2	15,45 a	14,36 a	20,65 a
	3	15,84 a	14,26 a	20,85 a
	4	15,60 a	13,87 a	20,60 a
	5	15,59 a	14,06 a	20,58 a
Novembre 2013	1	15,05 a	13,04 a	20,06 a
	2	16,04 a	12,33 a	21,08 a
	3	15,05 a	12,80 a	20,07 a
	4	15,64 a	11,99 a	20,65 a
	5	14,89 a	12,82 a	19,90 a
Décembre 2013	1	13,66 a	12,61 a	18,70 a
	2	13,35 a	12,21 a	18,38 a
	3	13,52 a	12,43 a	18,58 a
	4	13,00 a	12,97 a	18,10 a
	5	13,25 a	11,86 a	18,25 a

Dans chaque colonne, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Duncan à 5 %)

3.2.4 TENEUR EN GROUPEMENTS THIOLS DU LATEX

Les valeurs expérimentales relatives à l'évolution des teneurs en groupements thiols (R-SH) du latex des clones PB 217, RRIC 100 et PB 255 ont été consignées dans le tableau 9. L'analyse de ce tableau indique que les teneurs en groupements thiols des trois clones sont statistiquement identiques.

Tableau 9: Teneur en groupements thiols du latex en fonction des périodes de prélèvements

Périodes de prélèvements	Numéros des arbres traités par clone	Valeurs moyennes par clone (mmol.l ⁻¹)		
		PB 217	RRIC 100	PB 255
Octobre 2013	1	0,67 a	0,35 a	0,56 a
	2	0,64 a	0,33 a	0,58 a
	3	0,66 a	0,34 a	0,56 a
	4	0,63 a	0,34 a	0,58 a
	5	0,62 a	0,32 a	0,56 a
Novembre 2013	1	0,57 a	0,32 a	0,58 a
	2	0,63 a	0,286 a	0,52 a
	3	0,66 a	0,27 a	0,58 a
	4	0,61 a	0,25 a	0,53 a
	5	0,59 a	0,27 a	0,55 a
Décembre 2013	1	0,61 a	0,25 a	0,50 a
	2	0,57 a	0,27 a	0,52 a
	3	0,59 a	0,25 a	0,49 a
	4	0,55 a	0,27 a	0,50 a
	5	0,57 a	0,28 a	0,46 a

Dans chaque colonne, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes (test de DUNCAN à 5 %)

3.3 STABILITE DES PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES AU COURS DES TROIS MOIS D'ETUDE

Les variances des valeurs des différents paramètres physiologiques étudiés en fonction des périodes de prélèvements du latex des clones PB 217, RRIC 100 et PB 255 sont consignées dans le tableau 10. Les variances les plus faibles ont été observées au mois d'octobre 2013, tandis que les plus élevées ont été obtenues durant le mois de novembre de la même année. Les paramètres physiologiques ont été plus stables en octobre 2013 qu'en novembre et décembre 2013.

Tableau 10: Variances des paramètres physiologiques au cours du temps

Paramètres physiologiques	Clones	Périodes de prélèvements		
		octobre	novembre	décembre
Extrait sec (ExS)	PB 217	0,1572	3,0303	1,6666
	RRIC 100	0,9591	2,8234	1,2572
	PB 255	0,5056	2,723	1,894
	Moyenne	0,5406 c	2,8589 a	1,6059 b
Saccharose (Sacc)	PB 217	0,0717	1,7814	0,8806
	RRIC 100	0,0059	0,7926	0,0194
	PB 255	0,0112	0,4446	0,0541
	Moyenne	0,0296 c	1,0062 a	0,318 b
Phosphore inorganique (Pi)	PB 217	0,0421	0,734	0,0633
	RRIC 100	0,0663	0,2153	0,177
	PB 255	0,0285	0,2458	0,0582
	Moyenne	0,0456 c	0,3983 a	0,0995 b
Groupements thiols (R-SH)	PB 217	0,0004	0,001	0,0005
	RRIC 100	0,0001	0,0005	0,0002
	PB 255	0,0002	0,0007	0,0004
	Moyenne	0,0002 c	0,0007 a	0,0003 b

Dans chaque colonne, les valeurs affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Duncan à 5 %)

3.4 EVOLUTION DES PARAMETRES METEOROLOGIQUES AU COURS DU TEMPS

Les valeurs moyennes mensuelles de pluviométrie (mm), de température (°C) et d'hygrométrie (%) des différents mois de l'expérimentation, sont consignées dans le tableau 1 (cf. Matériel et méthodes). L'analyse du tableau montre que la pluviométrie a été le seul paramètre climatique qui a présenté de grandes variations. En effet, la pluviométrie qui a été de 88,8 mm en octobre 2013 a augmenté de 133,22 % pour atteindre 207,1 mm en novembre 2013, puis a chuté de 38,24 % pour atteindre 127,9 mm en décembre de la même année.

4 DISCUSSION

4.1 EFFET DU DELAI DE CONSERVATION DU LATEX OU DU SERUM-TCA SUR L'EVOLUTION DES PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES DU LATEX

Les taux d'extrait sec, les teneurs en saccharose et en phosphore inorganique du latex sont restés statistiquement stables durant les 72 h de conservation du latex et du sérum-TCA quel que soit le clone. Cette stabilité pourrait signifier que cette durée de conservation n'a pas d'influence sur ces trois paramètres dans la réalisation du micro-diagnostic latex. Cependant, parmi les paramètres physiologiques dosés dans du sérum-TCA, seuls les groupements thiols semblent être plus sensibles à la déstabilisation relativement à la durée de conservation. En effet, au niveau de ces groupements thiols, une diminution significative est observée à partir du délai de 8 h quel que soit le clone. L'effet acide du TCA pourrait être à l'origine de la déstabilisation de ce paramètre physiologique.

L'instabilité des teneurs en groupements thiols du latex observée chez les clones PB 217, RRIC 100 et PB 255 au cours de la présente étude, trouve en partie une confirmation dans les travaux de Jacob *et al.* [1] qui ont indiqué que les groupements thiols constituent le facteur limitant de la conservation du latex et du sérum-TCA dans la réalisation du micro-diagnostic latex. Ainsi, sans doute, nous pouvons affirmer qu'une réalisation optimale du micro-diagnostic latex n'est possible que si la mesure des paramètres physiologiques du latex est réalisée dans un délai inférieur ou égal à 4 h après le prélèvement du latex au champ.

4.2 EFFET DES VARIATIONS CLIMATIQUES SUR LA STABILITE DES PARAMETRES PHYSIOLOGIQUES

Les taux d'extrait sec, les teneurs en saccharose, phosphore inorganique et en groupements thiols du latex sont restés statistiquement stables durant la période d'étude quel que soit le clone. Cette stabilité semble indiquer que les différentes périodes de prélèvements n'ont pas d'influence sur ces paramètres physiologiques dans la réalisation du micro diagnostic latex. Toutefois, les valeurs des paramètres physiologiques ont été plus stables en octobre, suivies de celles de décembre puis de celles de novembre de la même année. Par ailleurs, parmi les paramètres climatiques étudiés, seule la pluviométrie a présenté des variations significatives. En effet, la période de novembre a affiché la plus grande pluviométrie (207,1 mm), suivie de celle de décembre (127,9 mm) dont la pluviométrie a été supérieure à celle d'octobre (88,8 mm). Une variation similaire de la pluviométrie a aussi été rapportée par Van de Sype [13] qui a noté que la pluviométrie évolue régressivement de 125 mm (octobre) à 25 mm (décembre). Les données de micro-diagnostic latex, soumises à une comparaison de variances par rapport aux différentes périodes de prélèvements, ont indiqué que les paramètres physiologiques ont évolué suivant les paramètres climatiques, notamment la pluviométrie. En effet, plus la pluviométrie a été importante (207,1 mm de pluie en novembre > 127,9 mm de pluie en décembre > 88,8 mm de pluie en octobre), plus l'instabilité des paramètres physiologiques est élevée. La stabilité des paramètres physiologiques dans nos conditions expérimentales semble dépendre donc de la pluviométrie. Ces résultats corroborent ceux de Van de Sype [13] qui ont rapporté que les variations des paramètres du latex dépendent des conditions climatiques et particulièrement de la pluviométrie.

Au regard de cette stabilité des paramètres physiologiques suivant la variation des paramètres climatiques, notamment la pluviométrie, la période d'octobre qui a été la moins pluvieuse et la plus stable serait la plus favorable à la réalisation du micro-diagnostic latex. Par conséquent, la réalisation du MDL pendant la saison sèche serait aussi optimale s'il n'y a pas de défoliation. En effet, la photosynthèse joue un rôle prépondérant en faveur de la régénération *in situ* du latex [14] et, de ce fait, sur les paramètres physiologiques du latex [1], [2]. Les résultats de la présente étude indiquent que la stabilité des paramètres physiologiques du latex n'est pas affectée par le changement climatique.

5 CONCLUSION

L'étude de la détermination des conditions optimales de réalisation de micro-diagnostic latex d'*Hevea brasiliensis* en Côte d'Ivoire a révélé que la bonne période de prélèvement de latex est le mois d'octobre (période de faible instabilité des

paramètres physiologiques). Quant au délai de conservation, il apparaît que les taux d'extrait sec de même que les teneurs en phosphore inorganique et en saccharose restent stables jusqu'à 72 heures de conservation quel que soit le métabolisme du clone de *Hevea brasiliensis*. Par contre, les teneurs en groupements thiols se dégradent à 8 heures de conservation après le prélèvement du latex au champ et constituent donc le facteur limitant de la conservation du latex et du sérum-TCA dans la réalisation optimale de micro-diagnostic latex. Ainsi dans les conditions optimales de réalisation de micro-diagnostic latex, le meilleur délai de conservation est donc 4 heures après le prélèvement du latex.

REFERENCES

- [1] J. L. Jacob, E. Serres, J. C. Prevot, R. Lacrotte, A. Clement-Vidal, J. M. Eschbach & J. D'Auzac, "Mise au point du diagnostic latex," *Agritrop.*, no. 12, pp. 97-118, 1988.
- [2] E. Gohet, "La production de latex par *Hevea brasiliensis*. Relation avec la croissance. Influence de différents facteurs : origine clonale, stimulation hormonale, réserves hydrocarbonées," Thèse de doctorat 3^{ème} cycle; Univ. Sci. Tech. Lang., Montpellier II, France, 343 p, 1996.
- [3] M. S. Traore, E. A. Dick, A. E. A. Elabo, E. F. Soumahin, E. G. M. Assi, O. G. J. Atsin, Y. J. Alle, A. E. B. N'Guessan, C. Kouame & S. Obouayeba, "Effets de différentes fréquences annuelles de stimulation éthylénique sur les paramètres agrophysiologiques et de sensibilité à l'encoche sèche d'*Hevea brasiliensis* au sud-est de la Côte d'Ivoire : cas des clones PB 235 et PB 260 de la classe d'activité métabolique rapide," *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 8, no. 3, pp. 956-974, 2014,
- [4] J. L. Jacob, J. C. Prévôt, R. Lacrotte & J. M. Eschbach, "Le diagnostic latex," *Plant. Rech., Dévelop.*, no. 2, pp. 34-37, 1995.
- [5] J. M. Eschbach, D. Roussel, H. Van De Sype & J. L. Jacob, "Relationships between yield and clonal physiological characteristics of latex from *Hevea brasiliensis*," *Physiol. Vég.*, vol. 22, no. 3, pp: 295-304, 1984.
- [6] E. Serres, R. Lacrotte, J.C. Prevot, A. J. Clement, Commere & J.L. Jacob, "Metabolic aspects of latex regeneration in situ for three Hevea clones," *Rubb. Ind. J.*, no. 7 pp. 79-84, 1994.
- [7] E. Gohet, J. C. Prevot, J. M. Eschbach, A. Clement & J. L. Jacob, "Clone, croissance et stimulation, facteurs de la production de latex," *Plant. Rech. Dev.*, vol. 3, no. 1, pp. 30-38, 1996.
- [8] T. B. Yao, F. Akindès & S. Bigot, "La variabilité climatique en Côte d'Ivoire : entre perceptions sociales et réponses agricoles," *Cah. Agri.*, vol. 14, no 6, pp. 533-540, 2005.
- [9] T. Chapuset, "Description des clones étudiés à grande échelle," Rapport CNRA- HEVEA N° 01/01-Mai 2001, 36 p., 2001.
- [10] G. Ashwell, "Colorimetric analysis of sugar," *Meth. Enzymol*, no. 3, pp. 73-105, 1957
- [11] H. H. Tausssky & E. Shorr, "A micro colorimetric method for the determination of inorganic phosphorus," *J. Biol. Chem.*, no. 202, pp. 625-685, 1953.
- [12] A. F. Boyne & G. I. Ellman, "A methodology for analysis of tissue sulphhydryl Components," *Ann. Biochem*, no. 46, pp. 639-653, 1972.
- [13] H. Van de Sype, "Variation saisonnière des paramètres physiologiques du latex chez le GT 1 (*Hévéa brasiliensis*)," *Physiol. Vég.*, vol. 18, no. 2, pp. 436-452, 1985.
- [13] P. Compagnon, "Le caoutchouc naturel," Coste R. Ed. G. P Maisonneuve et Larose, Paris, 295 p, 1986.

Pattern of Genetic Diversity of ABO system in Moroccan Blood Donors Evidenced by Model-Based Bayesian Clustering

Fatima Zarati¹⁻²⁻³, Hafid Achtak⁴⁻⁵, Mouna Moutia¹, Houria El Housse¹, Zainab Ouabdelmoumene¹, Kamal Bouisk³,
and Norddine Habti¹⁻²⁻⁶

¹Laboratory of Biotechnology and Experimental Medicine, Hassan II University of Casablanca, Morocco

²Laboratory of Hematology, Cellular and Genetic Engineering Faculty of Medicine and Pharmacy, Hassan II University, Casablanca, Morocco

³Regional Blood Transfusion Centre, Casablanca, Morocco

⁴Cadi Ayyad University, Polydisciplinary Faculty, Department of Biology, Environment and Health Team, Safi, Morocco

⁵Cadi Ayyad University, Faculty of Sciences Semlalia, Department of Biology, Neurosciences, Pharmacology and Environment Unit, Morocco

⁶National Blood Transfusion Centre, Rabat, Morocco

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

ABSTRACT: *Introduction:* Historically, Morocco has known many successive conquests and invasions that have induced genetic changes in its autochthons population. It's known that blood groups are among the most polymorphic systems. The study of ABO blood groups showed that their distribution varied in different populations. The aim of this study is to analyze the diversity and genetic differentiation of ABO system in the Moroccan population.

Material and methods: Data of ABO system genetic polymorphism from previous study were analyzed using statistical approaches which are the classical and the Bayesian methods. The classical approach has been used to assess genetic differentiation by adopting multivariate analysis type: PCA (Principal Component Analysis) and the index of genetic differentiation F_{st} . The Bayesian approach was used to assess the genetic structure of ABO system in the Moroccan population compared to other countries.

Results: Within the studied Moroccan population, 10 ABO alleles and 21 genotypes were identified. The heterozygosis rate is about 0.74 and 0.72, respectively, for the expected and observed heterozygosis.

PCA analysis shows that the studied population forms 4 groups. Data of genetic distances confirm the presence of Morocco within a group formed by Kuwait, Spain and Jordan with low genetic distances of 1%, 1.8% and 2%, respectively. The Bayesian analysis shows that all the countries, except Germany, present 5 genetic pools. Besides Morocco and Kuwait that have been found to present 5 genetic pools with similar frequencies.

Conclusion: The Moroccan population studied exhibits similarity with the countries of the Middle East and the southwest of Europe.

KEYWORDS: ABO system, diversity, genetic differentiation, PCA, Bayesian approach.

1 INTRODUCTION

Studying the phenotypic and genetic polymorphisms allow to understand the diversity within the populations. It's useful to display genetic frequencies variation in different ethnic groups and to calculate the genetic distances between world populations.

Blood groups are among the most polymorphic systems. Since the discovery of blood groups by Karl Landsteiner in 1901, more than 300 alleles listed in 35 systems have been described in the data base db RBC on the NCBI website [1], [2], [3]. The most important blood group system is the ABO system, given its role in blood transfusion and transplantation [4], [5], [6]. In addition, several studies have reported associations between ABO polymorphism and various diseases and infections [7], [8], [9], [10]. Interestingly, the polymorphism of ABO blood group is the first marker that was used in the genetic anthropology discipline. ABO blood groups studying shows that their distribution varies from population to another. For instance, B blood group forms about 27.32% in Kuwait while in Spain, it is about 8.33% [11], [12]. The phenotypic polymorphism ABO is due to a polymorphism in the ABO gene. ABO gene is located in the long arm of chromosome 9 (9q34). It's represented by several alleles A, B and O. The most frequent ABO alleles in the world are: A_{101} , A_{102} , B_{101} , O_{01} and O_{02} . A and B alleles are codominant, while O alleles are recessive. Thus it is not possible to identify genotypes from some phenotypes, which need direct genetic exploration using molecular biology methods.

Geneticists and Anthropologists are interested in Morocco because of its geographic situation as crossroads between Europe, Asian middle-east and Africa.

Historically, Morocco knew many successive invasions such as Phoenicians, Carthaginians, Romans, Vandals and Arabs. The last invasion was from Europe with Portuguese, French and Spanish populations. All these civilizations have had deep cultural and genetic changes on its autochthon population.

Several studies have determined the phenotypic frequencies of ABO blood groups and their distribution in different regions of Morocco by determining genetic frequencies through

statistical estimation [13], [14]. Other anthropological studies have identified O alleles polymorphisms in Moroccan Berber Populations [15], [16]. However, no genetic data are available concerning A and B alleles.

Our aim is to determine and evaluate the ABO genetic polymorphism and composition in Moroccans comparatively to populations from other countries.

2 MATERIAL AND METHODS

The genotyping results of our previous study that concern 120 samples of Moroccan blood donors (Unpublished data), taken randomly, have been analyzed and compared to other countries using different statistical approaches.

2.1 GENETIC DIVERSITY

The assessment of the genetic variability has been estimated using standard parameters of diversity, including number of alleles, allele frequencies, observed heterozygosity (H_o) and non-biased estimated heterozygosity.

This last parameter [17] has been used for a better genetic diversity representation of populations with small samples [18]. The set of these parameters has been calculated using GenALex programme. The deviation of Hardy-Weinberg equilibrium has been tested via F_{is} parameter [19], according to Weir & Cockerham (1984) [20]. F_{is} values and their significance have been calculated using Genepop Software, adopting the exact test [21].

2.2 GENETIC DIFFERENTIATION

The classical approach has been used to evaluate the genetic differentiation, adopting PCA and F_{st} differentiation index and using Past and GenALex Softwares respectively [22].

The establishment of distance dendrogram has been realized using UPGMA Algorithm via Treeview Programme.

2.3 BAYESIAN ANALYSIS APPROACH

The genetic structure of ABO system of the Moroccan population compared to other countries was assessed by Bayesian approach.

First, the assumed number of ancestral genetic populations K was defined. Then each sample was assigned to its original population. The analysis was run using a model with Admixture and correlated allele frequencies, with the assumed number of genetic K clusters varying from 1 to 10, ten replicate runs per K value, a burning period length of 200,000, and a post burning simulation length of 1,000,000.

The identification of the most probable number of genetic ancestral populations, amongst the 10 K tested (K=1 to K=10), was established using ΔK parameter [23].

3 RESULTS

3.1 GENETIC DIVERSITY

Table 1 and 2 summarizes the genetic diversity parameters scored at the ABO loci in the Moroccan population and in some selected countries.

Table 1: Allele frequencies and sample size by population

Allele	Morocco (n=110)	Spain (n=108)	Germany (n=1335)	England (n=98)	Jordan (n=150)	Kuwait (n=166)	India (n=100)	China (n=125)	Japan (n=1000)	
A	A ₁₀₁	0.113	0.273	0.219	0.138	0.200	0.111	0.155	0.012	0.057
	A ₁₀₂	0.021	-	-	0.015	0.007	0.018	0.010	0.180	0.222
	A ₁₀₄	-	-	-	-	-	-	-	-	0.005
	A _v	-	-	-	0.005	-	-	-	-	-
	A1 ⁻²	-	-	-	-	0.013	-	-	-	-
B	A ₂₀₁	0.058	0.019	0.064	0.056	0.053	0.030	0.020	-	0.001
	A ₂₀₄	-	-	-	-	-	-	-	-	0.002
	A ₂₀₇	-	-	-	-	-	0.006	-	-	-
	B ₁₀₁	0.121	0.088	0.100	0.128	0.130	0.163	0.265	0.168	0.164
	B ₁₀₂	-	-	-	-	-	-	-	-	0.008
O	B ₁₀₈	-	-	-	-	-	0.003	-	-	-
	O ₀₁	0.233	0.324	0.596	0.408	0.393	0.310	0.320	0.384	0.282
	O ₀₂	0.346	0.259	-	0.163	0.203	0.250	0.145	0.248	0.257
	O ₀₃	0.0083	0.037	0.021	0.010	-	0.003	0.085	-	-
	O ₀₅	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001
	O ₀₆	-	-	-	-	-	-	-	-	0.003
	O _v	-	-	-	0.077	-	-	-	0.008	-
	O ₁₀₃	-	-	-	-	-	0.003	-	-	-
	O ₁₀₇	0.0042	-	-	-	-	-	-	-	-
	O ₁₀₉	-	-	-	-	-	0.081	-	-	-
	O ₂₀₇	-	-	-	-	-	0.003	-	-	-
	O ₂₀₈	-	-	-	-	-	0.003	-	-	-
	O ₂₀₉	-	-	-	-	-	0.006	-	-	-
	O ₂₁₇	-	-	-	-	-	0.003	-	-	-
	O ₃₀₅	-	-	-	-	-	0.003	-	-	-
O ₃₀₆	0.0042	-	-	-	-	0.006	-	-	-	
O _{nv}	0.0042	-	-	-	-	-	-	-	-	
Reference	Unpublished data	[12]	[27]	[25]	[34]	[35]	[36]	[25]	[26]	

Table 2: Summary of private alleles by population

Population		Angleterre		Jordanie	
Allèle		A_v		A_1^{-2}	
Fréquence		0.0051		0.0133	

Japon				
B_{102}	A_{104}	A_{204}	O_{06}	O_{05}
0.008	0.0045	0.0020	0.0030	0.0005

Kuwait									
B_{108}	A_{207}	O_{109}	O_{208}	O_{209}	O_{217}	O_{305}	O_{207}	O_{103}	O_{306}
0.0030	0.0060	0.0813	0.0030	0.0060	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0060

Maroc		
O_{306}	O_{nv}	O_{107}
0.0042	0.0042	0.0042

In Morocco, 10 alleles have been revealed, whereas only 5 are found at the German population. The highest number of alleles has been detected at the population of Kuwait.

Otherwise, observed and estimated heterozygosity in Moroccan population of blood donors showed 0.724 and 0.740 values respectively [Table 3].

Table 3: Summary of genetic diversity parameters by population

	N_a	N_e	H_o	H_{eu}	F
Morocco ($n=110$)	10	3.80	0.724	0.740	0.018
Spain ($n=108$)	6	3.90	0.731	0.747	0.016
Germany ($n=1335$)	5	2.40	0.578	0.583	0.009
England ($n=98$)	9	4.20	0.755	0.766	0.009
Jordan ($n=150$)	7	3.91	0.740	0.746	0.005
Kuwait ($n=166$)	16	4.86	0.723	0.797	0.090
India ($n=100$)	7	4.44	0.830	0.778	-0.072
China ($n=125$)	6	3.71	0.784	0.733	-0.074
Japan ($n=1000$)	11	4.44	0.759	0.775	0.021
Mean	8.11	3.96	0.736	0.741	0.003
SE	1.16	0.23	0.023	0.021	0.017

N_a : Number of Different Alleles, N_e = Number of Effective Alleles, H_o = Observed Heterozygosity, H_{eu} = Unbiased Expected Heterozygosity, F = Fixation Index

3.2 GENETIC STRUCTURE

3.2.1 CLASSICAL ANALYSIS

The results of PCA analysis, based on allele frequencies, have been demonstrated in a two-dimensional diagram. The two axes represent 56.74% and 24.27% of the variation [Figure 1]. This analysis allowed us to distinguish four groups. The first contains China and Japan. While the second, contains Morocco, Kuwait and Spain. The third comprises England, India and Jordan. The last group is formed only by Germany.

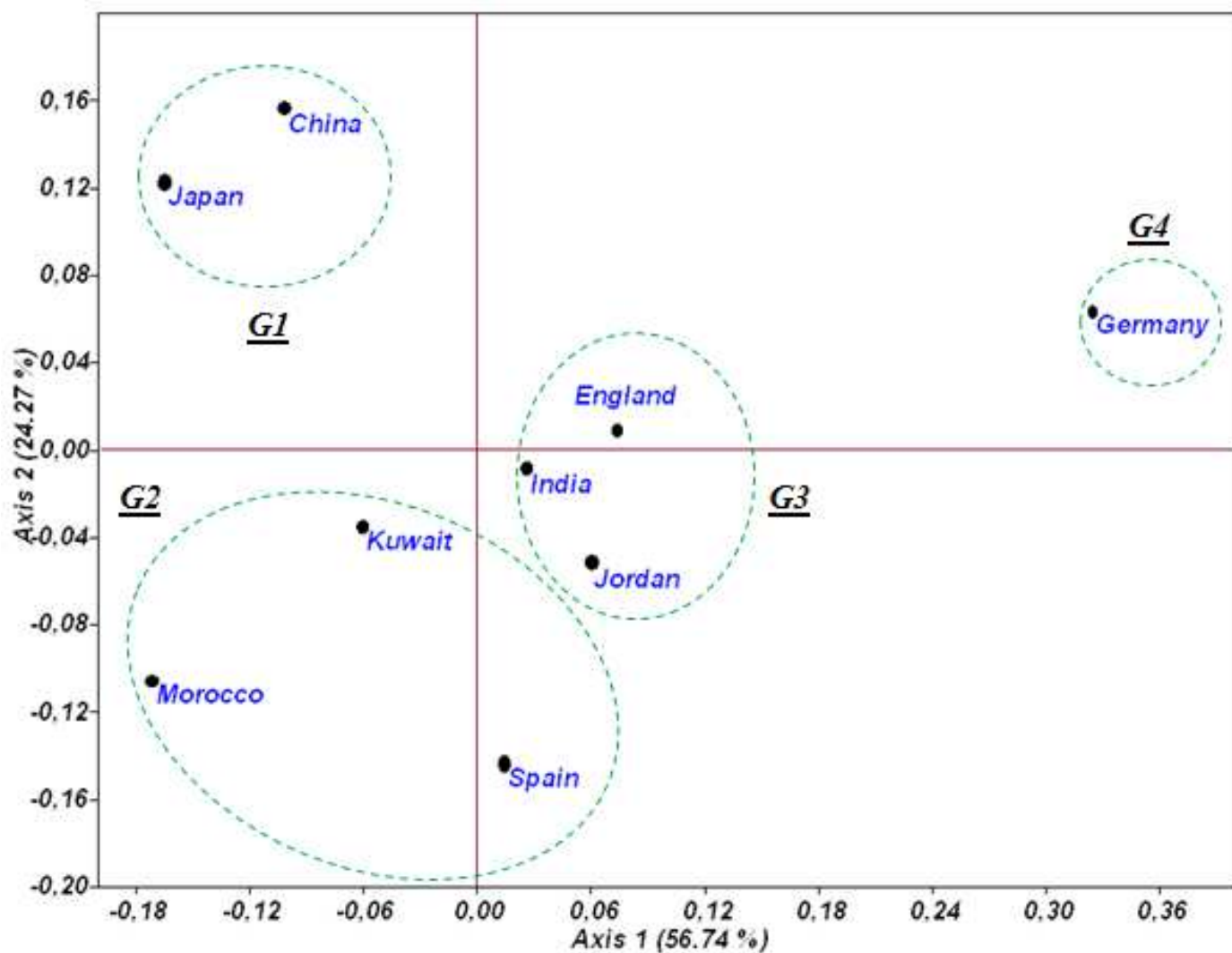


Figure1: PCA analysis among the populations defined according to their ABO alleles

The genetic distances analysis showed 3 groups [Figure 2 & Table 4]. The first group is a fusion of 2 groups, comprising 6 populations which are Morocco, Kuwait, Spain, Jordan, England and India. The remaining groups are unchanged.

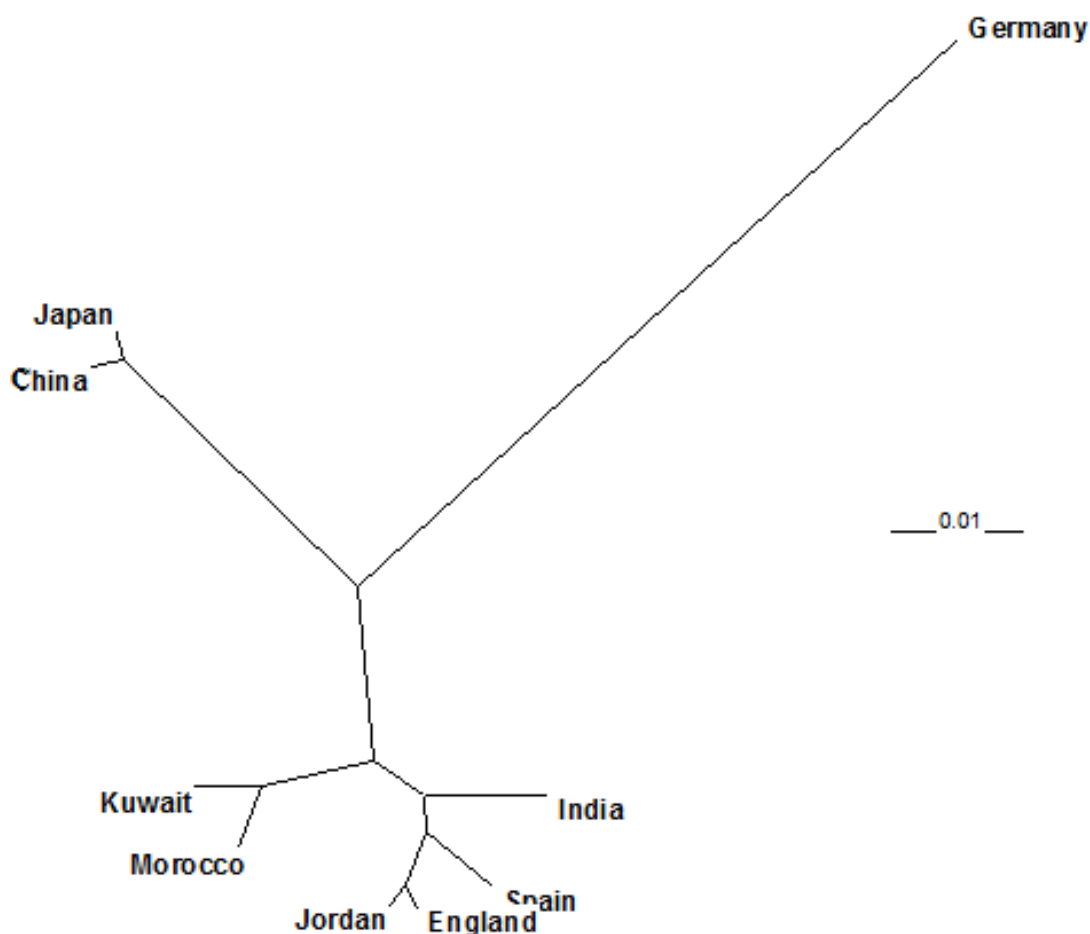


Figure 2: Genetic relationships among the populations defined according to their ABO alleles

Table 4: Geographic group pairwise comparisons

	Morocco	Spain	Germany	England	Jordan	Kuwait	India	China	Japan
Morocco	0	0.108	0.498	0.174	0.125	0.063	0.211	0.154	0.145
Spain	0.018	0	0.215	0.094	0.035	0.086	0.133	0.240	0.245
Germany	0.095	0.052	0	0.083	0.104	0.253	0.188	0.302	0.443
England	0.026	0.015	0.027	0	0.024	0.073	0.090	0.124	0.201
Jordan	0.020	0.006	0.031	0.004	0	0.051	0.079	0.147	0.196
Kuwait	0.010	0.013	0.057	0.010	0.008	0	0.090	0.100	0.131
India	0.030	0.020	0.047	0.013	0.012	0.012	0	0.175	0.213
China	0.025	0.037	0.068	0.020	0.024	0.016	0.026	0	0.025
Japan	0.022	0.034	0.084	0.027	0.028	0.017	0.027	0.005	0

Above diagonal: Nei's (1972) genetic distance. Below diagonal: Pairwise genetic differentiation index (Fst)

3.2.2 BAYESIAN ANALYSIS APPROACH

The Bayesian approach showed that the accurate representation of the ABO genetic structure of the analyzed populations, was observed for K =2 (DK = 168.475) and K =5 (DK = 87.986) [Figure3a]. For k=2 and k=5, a high rate of admixture was showed for all analyzed populations.

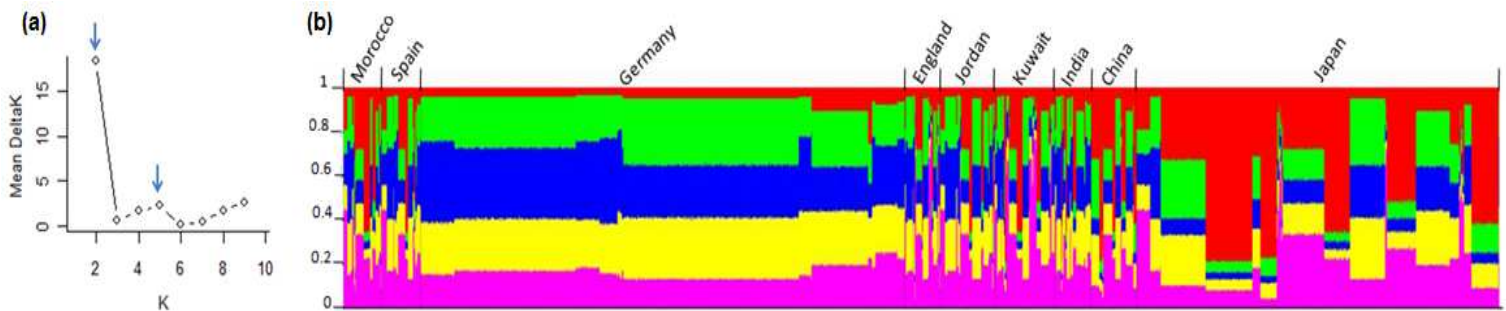


Figure3. The genetic relationships among the 9 countries estimated using STRUCTURE

(a) The ΔK (Evanno et al., 2005) was plotted against various values of K suggesting K=5 as the most likely number of clusters, (b) assignment of individuals to the genetic clusters at K=5. The y-axis shows the likelihood distance and the x-axis shows the individual (blood donor) and subgroup indicated by color. Each color represents one gene pool.

Thus, all countries present the 5 genetic clusters with nearest probability [Table 5 and figure 3b]. Except Germany, of which the first cluster (red) is less frequent (0.053), all other countries present the 5 genetic clusters with nearest assignment probability. Moreover, Morocco and Kuwait present the 5 clusters with a similar probability.

Table5: Probability of meeting the country in five gene pool

	Cl1	Cl2	Cl3	Cl4	Cl5
Morocco	0.289	0.145	0.155	0.149	0.261
Spain	0.17	0.176	0.211	0.187	0.255
Germany	0.053	0.249	0.283	0.253	0.162
England	0.153	0.18	0.198	0.185	0.284
Jordan	0.164	0.189	0.211	0.194	0.242
Kuwait	0.211	0.153	0.156	0.157	0.323
India	0.165	0.189	0.222	0.21	0.214
China	0.337	0.179	0.115	0.169	0.2
Japan	0.388	0.158	0.111	0.15	0.194

4 DISCUSSION

Our results display the presence in Morocco of three alleles A_{101} , A_{102} and A_{201} with the proportion of $A_{101}/A_{102}= 5.38$ and $A_{101}/A_{201}=1.95$; while in Japan the frequency of ABO^*A_{102} is 23.5% and 18%, at the Chinese population [24]. ABO^*A_{201} allele is either absent i.e. within the Chinese or rare as for the Japanese (0,1%) [25], [26]. Comparatively ABO^*A_{102} allele is absent at the Spanish and the German [27], [12].

Our previous study revealed that O_{02} allele is more frequent than O_{01} at a proportion of $O_{02}/O_{01}= 1.5$, this value is similar to that reported by Roubinet et al. ($O_{02}/O_{01}= 1.8$), while it equals 1 in Ivory Coast and at Afro-American communities [28], [15]. The frequency of O_{02} and A_{201} alleles shows a similarity between the Moroccan, the Spanish and Kuwaiti populations. Moreover, the presence of O_{306} allele within the Moroccan population also illustrates a similarity with Kuwait.

Our previous study has identified 10 alleles at the Moroccan population. This result should be reconsidered after DNA sequencing of O individuals with an unidentified variant. Roubinet et al. (2004) confirmed the presence of 9 O alleles at the Berber Moroccan population [15]. The diversity of the Moroccan population could be explained by different migration movements that Morocco has historically experienced.

The genetic migration reduces endogamy which leads to increased genetic variability and heterozygosity [29]. The most genetic diversity has been identified at the Kuwaiti population with 16 ABO alleles; 10 of them are private alleles.

Germany presents only 5 alleles and the least level of heterozygosity. Furthermore, the most value of the observed heterozygosity is that of the Chinese and Indian populations with 0.830 and 0.784, respectively [Table 3]. In Morocco, the values of observed and expected heterozygosity are 0.740 and 0.724, respectively.

PCA Analysis displays four populations groups. The results of genetic distance confirm that Moroccan population is in the same group of Kuwait, Spain, and Jordan with genetic distances 0.010, 0.018 and 0.020, respectively.

Several studies have confirmed this genetic convergence that may be explained by a gene flux, according to different migration movements [30], [31], [32].

Bekada et al. (2013) have confirmed that nearly 20% and 35% of the Maghreb genetic pool is from the Middle-East, and 5% and 30%, from Europe, especially the Iberic Peninsula, of maternal (ADNmt) and paternal(Y-ADN) lineages [33].

Botigué et al. (2013) have reported that gene flux from North-Africa contributes to the increase of diversity and differentiation in the South-West European population [32].

The Asian gene flux, especially from Indian and Pakistani populations, towards North-Africa is explained by the common shared history before and after Islamization, supports arguably the presence of Morocco in the same genetic group, as England, a country showing a large presence of Indian and Pakistani citizens.

Bayesian analysis showed that, apart from Germany, of which the first (red) cluster is less frequent (0.053), all other countries present the 5 genetic clusters with nearest assignation probability. Moreover, Morocco and Kuwait present 5 clusters with a similar probability.

The rate of ABO system admixture between different countries illustrates that there is an important gene flux between populations despite geographic origins.

5 CONCLUSION

The Moroccan population studied exhibits similarity with countries of the Middle East (Jordan and Kuwait) and the southwest of Europe (Spain). Furthermore, the crossing rate and merging for the ABO system between countries shows that it is difficult to talk about genetic border between populations.

AUTHORSHIP CONTRIBUTIONS

FZ and HA: Contribution to achievement of the statistical analysis, manuscript drafting, study conception and design, data acquisition, data analysis and interpretation and revision of the manuscript.

NH: Contribution to manuscript drafting, conception and design, data acquisition, data analysis and interpretation, manuscript revision and critical revision of the intellectual content.

MM, HE, ZB and KB participated in study design and data acquisition and manuscript revision.

All Authors approved the final version of the manuscript to be published.

CONFLICT OF INTEREST

Authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- [1] Blumenfeld OO, Patnaik SK. Allelic genes of blood group antigens: a source of human mutations and cSNPs documented in the Blood Group Antigen Gene Mutation database. *Hum Mutat.* 23(1):8–16, 2004.
- [2] Boccoz SA, Blum LJ, Marquette CA. DNA biosensor/biochip for multiplex blood group genotyping. *Methods.* 64 (3):241–9, 2013.
- [3] Goebel M, Halm-Heinrich I, Parkner A, Rink G, Heim MU, Bugert P. A Novel ABO Gene Variant Leads to Discrepant Results in Forward/Reverse and Molecular Blood Grouping. *Transfus Med Hemotherapy.* 40 (6):454-8, 2013.
- [4] Chiaroni J, Ferrera V, Dettori I, Roubinet F. Groupes sanguins érythrocytaires. *EMC - Hématologie.* 2 (2):53-112, 2005.
- [5] Mitra R, Mishra N, Rath GP. Blood groups systems. *Indian J Anaesth.* 58(5):524-8, 2014.
- [6] Rouger P. Influence des antigènes de groupes sanguins en transplantation. *Transfus Clin Biol.* 12(5):403-8, 2005.
- [7] Cserti CM, Dzik WH. The ABO blood group system and Plasmodium falciparum malaria. *Blood.* 110 (7):2250-8, 2007.
- [8] Liunbruno GM, Franchini M. Beyond immunohaematology: the role of the ABO blood group in human diseases. *Blood Transfus.* 11(4):491-9, 2013.
- [9] Norma CS, Joyce MA, Maria FL, et al. The relationship between ABO groups and subgroups, factor VIII and von Willebrand factor. *Haematologica.* 91 (2): 236–239, 2007.
- [10] Wolpin BM, Kraft P, Xu M, et al, Kooperberg C, Mendelsohn JB, et al. Variant ABO blood group alleles, secretor status, and risk of pancreatic cancer: results from the pancreatic cancer cohort consortium. *Cancer Epidemiol Biomark Prev.* 19 (12):3140-9, 2010 .
- [11] El-Zawahri MM, Luqmani YA. Molecular genotyping and frequencies of A1, A2, B, O1 and O2 alleles of the ABO blood group system in a Kuwaiti population. *Int Hematol.* 87(3):303-9, 2008.
- [12] Umbria M, Cantons J, Bruguera C, Minias A, de Duró CB, Catalano G, et al. Molecular polymorphism of the ABO blood group: a study in Poland, Spain, and Andorra. *Am J Hum Biol Off J Hum Biol Counc.* 26(4):556-8, 2014.
- [13] Chadli S, Brakez Z, Belhachmi A, Izaabel H. Gradient de distribution des allèles du système ABO au Maroc: polymorphisme du système ABO dans la population du Sous. *Antropo.* (15):49-53, 2007.
- [14] Habti N, Nourichafi N, Benchemsi N. Polymorphisme ABO chez les donneurs de sang au Maroc. *Transfus Clin Biol.* 11(2):95-7, 2004.
- [15] Roubinet F, Despiau S, Calafell F, Jin F, Bertranpetit J, Saitou N, et al. Evolution of the O alleles of the human ABO blood group gene. *Transfusion.*44(5):707-15, 2004.
- [16] Amory S, Dugoujon J-M, Despiau S, Roubinet F, El-Chennawi F, Blancher A. Diversité génétique de l'allèle O dans des populations berbères. *Bull Mém Société Anthropol, Paris.* 17(3-4):199-207, 2005.
- [17] Nei M. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics.* 89(3):583-90, 1978.
- [18] Christin L. Pruett, Kevin Winker. The effects of sample size on population genetic diversity estimates in song sparrows *Melospiza melodia.* *J Avian Biol.*39 (2):252– 256, 2008.
- [19] Wright S. *Evolution and the genetics of populations.* Vol. 2. The University of Chicago Press Books . 520 p, 1969.
- [20] Weir BS, Cockerham CC. Estimating F-statistics for the analysis of population structure. *Evolution.* 1158-370, 1984.
- [21] Raymond M, Rousset F. An exact test for population differentiation. *Evolution.* 1283-6, 1995.
- [22] Rod Peakall and Petter E. Smouse. *genalex 6: genetic analysis in Excel.* Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes.* Vol. 6, Issue 1, 288–295, 2006.
- [23] Evanno G, Regnaut S, Goudet J. Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Mol Ecol.*14(8): 2611-20, 2005.
- [24] Ohashi Jun, Izumi Naka, Ryosuke Kimura, et al. Polymorphisms in the ABO blood group gene in three populations in the New Georgia group of the Solomon Islands. *J Hum Genet.* 51:407-11, 2006.
- [25] Yip SP. Single-tube multiplex PCR-SSCP analysis distinguishes 7 common ABO alleles and readily identifies new alleles. *Blood.* 95(4):1487-92, 2000.
- [26] Maeda K, Nakamura S, Murakami C, Irie W, Watanabe T, Sasaki C, et al. ABO genotyping by TaqMan assay and allele frequencies in a Japanese population. *Leg Med Tokyo Jpn.* 15(2):57-60, 2013.
- [27] Bugert P, Rink G, Kemp K, Klüter H . Blood Group ABO Genotyping in Paternity Testing. *Transfus Med Hemotherapy.* 39 (3):182-6, 2012.
- [28] Calafell F, Roubinet F, Ramírez-Soriano A, Saitou N, Bertranpetit J, Blancher A. Evolutionary dynamics of the human ABO gene. *Hum Genet.* 124(2):123-35, 2008.
- [29] Graziella Caselli, Jacques Vallin, Guillaume J. *Démographie: Population et société.* Institut National d'Etudes Démographiques. Vol. VI, 2004.

- [30] Coudray, C., Guitard, E., Gibert, M., Sevin, A., Larrouy, G., Dugoujon, J.M.. Diversité génétique (allotypieGM et STRs) des populations Berbères et peuplement du nord de l'Afrique. *Antropo*, 11, 75-84, 2006.
- [31] Fadhlaoui Karima -Zid, Marc Haber, Begona Martínez. Genome-Wide and Paternal Diversity Reveal a Recent Origin of Human Populations in North Africa. *PLOS ONE*. 8 (11), 2016.
- [32] Botigué Laura R., Brenna M. Henn, Simon Gravel, et al. Gene flow from North Africa contributes to differential human genetic diversity in southern Europe. *PNAS*. 110 (29):11791-6, 2013.
- [33] Bekada Asmahan, Rosa Fregel, Vicente M, et al. Introducing the Algerian Mitochondrial DNA and Y-Chromosome Profiles into the North African Landscape. *PLOS ONE*. 8 (2):11, 2013.
- [34] Irshaid N. M., S. Ramadan, E. S. Wester, et al. Phenotype prediction by DNA-based typing of clinically significant blood group systems in Jordanian blood donors. 83:55-62, 2002.
- [35] Yip SP, Choi PS, Lee SY, Leung KH, El-Zawahri MM, Luqmani YA. ABO blood group in Kuwaitis: detailed allele frequency distribution and identification of novel alleles. *Transfusion*. 46(5):773-9, 2006.
- [36] Ray S, Gorakshakar AC, Vasantha K, Nadkarni A, Italia Y, Ghosh K. Molecular genotyping of ABO blood groups in some population groups from India. *Indian J Med Res*. 139(1):105-11, 2014.

Burning mouth syndrome

Soukayna Bahbah¹ and Wafaa El Wady²

¹Resident Dentist, Department of Oral Surgery, Consultation Center of Dental Treatment (CCDT), Faculty of Dentistry, University Mohamed V, Rabat, Morocco

²Professor and chief service of Oral Surgery, Consultation Center of Dental Treatment, Faculty of Dentistry, University Mohamed V, Rabat, Morocco

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

ABSTRACT: Burning mouth syndrome (BMS) is defined as a chronic pain condition characterized by a burning sensation in the clinically healthy oral mucosa. This condition is probably of multifactorial origin, often idiopathic and its exact etiopathogenesis remains unclear. The diagnosis is difficult, it can be made only after excluding all known diseases and deficiencies that can cause an oral burning sensation. The treatment frequently involves medications and dentists should be able to evaluate, diagnose and properly manage these patients.

KEYWORDS: stomatodynia, chronic, orofacial pain, diagnosis, treatment.

1 INTRODUCTION

Burning mouth syndrome is an idiopathic burning discomfort or pain affecting people with clinically normal oral mucosa, in whom a medical or dental cause has been excluded [1–2]. Synonyms used to describe burning mouth syndrome include Glossodynia, Glos-sopyrosis, Stomatodynia, Stomatopyrosis, Sore tongue, and oral Dysaesthesia [3]. According to classification system initiated by the International Association for the Study of Pain, with additional data supported by the International Headache Society and the American Academy of Orofacial Pain, the term “burning mouth syndrome” (BMS) is a category of non-neuropathic orofacial pain with an intraoral localization [4–5].

The pain is bilateral in most cases, does not follow the anatomy of peripheral nerves, and is typically reported at more than one oral site, the tongue being most frequently affected [6-7]. Patients with BMS also frequently complain of dry mouth and loss of or altered taste [8-9].

The etiology of this disorder remains poorly understood. Although there is evidence that a dysfunction in central and/or peripheral nervous system plays an important causative role [10-11]. It has been hypothesized that psychological factors could explain the burning mouth symptoms [12–13]. Several studies have reported high frequency of psychiatric morbidity in BMS [12–14]. It has been proposed that BMS be classified into two clinical forms: primary or essential/idiopathic BMS and secondary BMS. Primary BMS has no identifiable organic local or systemic causes and a neuropathological cause is likely. Secondary BMS results from local or systemic pathological conditions susceptible to cause-directed therapy [15].

Although BMS has been recognized for more than 30 years, it is a poorly understood and usually ill-defined condition [16]. The focus of this article is to provide the clinician with an understanding of BMS and to offer guidance in diagnosing and treating the patient with this condition.

2 EPIDEMIOLOGY

Due to the variability in diagnostic criteria used in diagnosing BMS, accurate epidemiologic data is missing. According to the literature, BMS can affect 0.7–15% of the population [15]. It is much more common in women than in men and most commonly presents in middle and late age. The mean age of patients being 50 - 60 years [17].

3 ETIOPATHOGENESIS

The aetiology is multifactorial, involving interactions among local, systemic and psychological factors [15]. Systemic factors include diabetes, nutritional deficiencies, hormonal changes, and psychological disorders. Local causes include oral infections, allergies, galvanism, salivary gland dysfunction, salivary component changes, and dental treatment and failure [18]. Psychogenic factors include anxiety, depression, stress, life events, personality disorders, and phobia [19-20]. Other causes of burning mouth symptoms include side effects of radiation or chemotherapy, cranial nerve injury, Sjogren's syndrome, systemic lupus, Parkinson's disease, trigeminal neuralgia, herpes simplex, and herpes zoster [21-22]. Immunosuppressant medications may also be implicated and patients with immune dysfunction, such as in human immunodeficiency virus (HIV), may suffer from oral conditions that cause their burning [23]. Support for a neuropathic aetiology comes from studies that have shown altered sensory and pain thresholds in people with burning mouth syndrome [24].

The pathophysiology of BMS is unclear and has generated controversy over the years [15]. According to Suarez and Clark, there are two hypotheses for BMS worth discussing. The first involves the interplay of sensory and taste systems innervating the tongue, which are because of the chorda tympani branch of the facial nerve and the trigeminal nerve, and involves the concept of individuals being "supertasters." The second theory is that small fiber neurologic damage or deterioration in the oral cavity causes BMS symptoms [23]. More recently, Woda et al. proposed that burning mouth syndrome is associated with an alteration of gonadal, adrenal and neuroactive steroid levels. They suggested that chronic anxiety or stress results in a dysregulation of adrenal steroids, which will, in turn, lead to an altered production of neuroactive steroids in skin, mucosa and the nervous system [25].

4 CLINICAL FEATURES

By definition BMS patients experience symptoms without having any visible abnormality of the oral tissues. The mucosa looks clinically normal and well lubricated. The distribution of the burning sensation is nearly always bilateral but it does not follow anatomical land-marks. The commonly affected sites are the tongue and lips but all other areas of the mouth may be involved [26]. Many patients complain of burning in more than one area [16]. Usually the onset is spontaneous but at times there is a precipitating event such as dental treatment. Patients often describe their pain as burning, tingling, hot or numb feeling. It is not unusual also to experience changes of taste perception presenting as poor or altered taste, and a feeling of dryness of the mouth [15]. The timing of the symptoms is variable. Some patients complain of continuous discomfort whereas others find that it gradually increases during the day [27]. Symptoms can be affected by eating (hot and spicy food), drinking (alcohol) and talking. Some patients also report the pain increases when they are feeling more stressed or tired. BMS can be associated with other facial or bodily pain, but it rarely interferes with sleep [16]. A family and social history may reveal a variety of psychosocial features that play a role in this syndrome [28].

Different classification types have been proposed based on the daily fluctuations of the symptoms [29–30]. A more pragmatic approach is proposed by Scala et al. [5], who organize burning mouth syndrome into two clinical types: primary and secondary types. Primary type includes idiopathic, non-neuropathic BMS. Burning mouth sensations (formerly, secondary BMS) are associated with established organic/therapeutic-related etiologies (e.g., oral cavity disorders, including oral local neuropathy, systemic disorders, nutritional deficiencies, drug-induced, neurological and psychiatric abnormalities). Burning mouth sensations are symptoms of these alterations and nowadays, according to available literature, do not represent a distinct type of BMS. [31]

5 DIAGNOSIS

The diagnosis of burning mouth syndrome should be established only after all the other possible causes have been discarded by systematic analysis of the patient; it's a diagnosis by exclusion. There are no specific diagnostic tests, thus the diagnosis is made in the absence of visible oral lesions such as erythema, erosions, depapillated tongue [32]. The diagnosis is clinically based on history of presenting complaint, normal clinical examination findings and normal laboratory results. It is

very important to take a thorough past medical history and drug history. Details about quality, intensity, onset, occurrence, persistence, overall duration, evolution, and site(s) of pain symptoms are essential for the adequate assessment of pain [16].

Symptomatically, BMS must be differentiated from other conditions, that may produce BMS-like symptoms: [15-16-31]

- Candidiasis,
- Sjögren Syndrome,
- Scleroderma,
- Anemia,
- Diabetes,
- Vitamin deficiency (B1, B2, B6, B12, folate, iron),
- Hypothyroidism,
- Multiple sclerosis,
- Anxiety,
- Dehydration,
- Mouth breathing/nasal obstruction,
- Medication reaction,
- Radiation-induced stomatitis,
- Apthous stomatitis,
- Contact stomatitis,
- Erosive lichen planus,
- Pemphigus,
- Leukoplakia,
- Bacterial infection....

6 MANAGEMENT

Since the treatment is generally unsatisfactory and BMS is a chronic pain syndrome, it is necessary that patients are properly informed regarding the expectations that need to be realistic, appropriate [33].

The first step in the treatment of BMS is the differentiation of primary from secondary form because in the presence of the latter, therapy is directed to treating the causal disease. This etiologically directed therapy usually produces a good response [34]. The procedure for differentiating “primary” from “secondary” BMS includes clinical/laboratory tests that are specifically meant to identify local/systemic factors associated with the syndrome.

The cure for primary BMS, however, remains elusive despite attempts with different classes of medication. The variable response rate to medical therapy is likely due to the multifactorial pathophysiology of idiopathic BMS, including irreversible processes. Treatment is aimed at management this disease as a type of chronic neuropathy. Investigated strategies include benzodiazepines, antidepressants, topical capsaicin, alpha-lipoic acid, hormone replacement therapy, anticonvulsants, biofeedback technique to modify parafunctional habits, and psychosocial therapies. [35]. As an adjunctive therapy method, acupuncture is referred to in the art as being beneficial for the relief of symptoms in patients with BMS [36]. When evidence of a psychogenic pain component is detected, specialists should also provide patients with adequate psychological support. This preliminary counseling, in fact, can have a great impact on the patients’ attitude and may often result in long-term beneficial effects [37].

For now, BMS remains a challenging medical condition to treat, and further research is required to determine the true efficacy of current management strategies for patients with this disorder. Future blinded randomized control trials with large sample size are necessary to provide new insight for use of various treatment modalities in BMS [34].

7 PROGNOSIS

There is no precise information pertaining to the natural history of BMS. However, it is known that improvement may occur within 6–7 years of onset in one-half to two thirds of patients. [20-38-39]. A recent retrospective study assessing 53 people with burning mouth syndrome (48 women and 5 men, mean duration of burning mouth syndrome 5.5 years) found a complete spontaneous resolution of oral symptoms in 11% of people who received no treatment. Overall, 30% of people experienced a moderate improvement, with or without treatment [40].

8 CONCLUSION

BMS is a chronic pain condition. It can be present over a number of years, but can also have remission periods. The complex and multifactorial etiology of BMS necessitates systematic and interdisciplinary approach for the proper management of these patients. A thorough understanding of the etiology and psychological impact of this disorder, combined with novel pharmacological interventions is required for better management. However, patients may have improvement of their pain. It is important to reassure the patients that BMS is not a part of a serious disease. Patients may require help from clinical psychologists to learn coping mechanisms

REFERENCES

- [1] Fox H. Burning tongue glossodynia. *N Y State J Med* 1935;35:881–4.
- [2] Van der Waal I. The burning mouth syndrome. 1st ed. Copenhagen: Munks-gaard; 1990.
- [3] Merksey H, Bogduk N, editors. Classification of chronic pain. 2nd ed. Seattle: International Association for the Study of Pain Press; 1994.
- [4] Benzon HT, Raja SN, Molloy RE, et al. Cervicogenic headache and orofacial pain. In: Phero JC, Bonzon H, ed. *Essentials of Pain Medicine and Regional Anesthesia*, 2nd ed. Philadelphia: Elsevier; 2005:301–310.
- [5] Scala A, Checchi L, Montevicchi M, et al. Update on burning mouth syndrome: overview and patient management. *Crit Rev Oral Biol Med*. 2003;14:275–291.
- [6] Grushka M. Clinical features of burning mouth syndrome. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1987;63:30–36.
- [7] Bergdahl M, Bergdahl J. Burning mouth syndrome: prevalence and associated factors. *J Oral Pathol Med* 1999;28:350–354.
- [8] Ship JA, Grushka M, Lipton A, Mott AE, Sessle BJ, Dionne RA. Burning mouth syndrome: an update. *J Am Dent Assoc* 1995;126:842–853.
- [9] Forssell H, Jääskeläinen S, Tenovu O, Hinkka S. Sensory dysfunction in burning mouth syndrome. *Pain*. 2002 Sep;99(1-2):41-7.
- [10] Lamey PJ, Lamb AB. Prospective study of aetiological factors in burning mouth syndrome. *Br Med J* 1988;296:1243–6.
- [11] Albuquerque RJ, de Leeuw R, Carlson CR, Okeson JP, Miller CS, Andersen AH. Cerebral activation during thermal stimulation of patients who have burning mouth disorder: an fMRI study. *Pain* 2006;122:223–34.
- [12] Bogetto F, Maina G, Ferro G, Carbone M, Gandolfo S. Psychiatric comorbidity in patients with burning mouth syndrome. *Psychosom Med* 1998;60:378–85.
- [13] Nicholson M, Wilkinson G, Field E, Longman L, Fitzgerald B. A pilot study: stability of psychiatric diagnoses over 6 months in burning mouth syndrome. *J Psychosom Res* 2000;49:1–2.
- [14] Al Quran FA. Psychological profile in burning mouth syndrome. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004;97:339–44.
- [15] Patton, L. L., Siegel, M. A., Benoliel, R., & De Laat, A. (2007). Management of burning mouth syndrome: Systematic review and management recommendations. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*, 103, S39.e1–S39.e13.
- [16] Savage, N. W., Boras, V. V., & Barker, K. (2006). Burning mouth syndrome: Clinical presentation, diagnosis and treatment. *Australasian Journal of Dermatology*, (47), 77–83.
- [17] Jurge S. Oral burning and burning mouth syndrome. *Dental Nursing* 2011;7(10).
- [18] Lauria, G., Majorana, A., Borgna, M., Lombardi, R., Penza, P., & Padovani, A. et al. (2005). Trigeminal small-fiber sensory neuropathy causes burning mouth syndrome. *Pain*, 115, 332–337.
- [19] Rojo L, Silvestre FJ, Bagan JV, De Vicente T. Psychiatric morbidity in burning mouth syndrome. Psychiatric interview versus depression and anxiety scales. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1993;75:308–11.
- [20] Lamey PJ, Lamb AB. The usefulness of the HAD scale in assessing anxiety in patients with burning mouth syndrome. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1989;67:390–2.
- [21] Grushka, M., Epstein, J. B., & Gorsky, M. (2002). Burning mouth syndrome. *American Family Physician*, 65(4), 615–620.
- [22] Grushka, M., Ching, V., & Epstein, J. (2006). Burning mouth syndrome. *Advances in Otorhinolaryngology*, 63, 278–287.
- [23] Suarez, P., & Clark, G. T. (2006). Burning mouth syndrome: An update on diagnosis and treatment methods. *Journal of the California Dental Association*, 34(8), 611–622.
- [24] Bartoshuk LM, Grushka M, Duffy VB. Burning mouth syndrome: damage to CN VII and pain phantoms in CN V. *Chem Senses* 1999;24:609.
- [25] Woda A, Dao T, Grémeau-Richard C. Steroid dysregulation and stom-atodynia (burning mouth syndrome). *J Orofacial Pain* 2009;23(3):202 –10.

- [26] Tammiälä-Salonen, T., Hiidenkari, T. and Parvinen, T., Burning mouth in a Finnish adult population, *Comm. Dent. Oral Epi-demiol.*, 21 (1993) 67-71.
- [27] Basker, R.M., Sturdee, D.W. and Davenport, J.C., Patients with burning mouths: a clinical investigation of causative factors, including the climacteric, *Br. Dent. J.*, 145 (1978) 9-16.
- [28] Zakrzewska J., Buchanan J. A. G.. Burning mouth syndrome. *BMJ Clin Evid.* 2010; 2010: 1301.
- [29] Klasser GD, Fischer DJ, Epstein JB. Burning mouth syndrome: recognition, understanding, and management. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am* 2008;20:255–71.
- [30] Grushka M, Epstein JB, Gorsky M. Burning mouth syndrome and other oral sensory disorders: a unifying hypothesis. *Pain Res Manage* 2003;8:133–5.
- [31] Woda A, Tubert-Jeannin S, Bouhassira D, et al. Towards a new taxonomy of idiopathic orofacial pain. *Pain.* 2005;116:396–406.
- [32] Shivpuri A, Sharma S, Trehan M, Gupta N. Burning mouth syndrome: A comprehensive review of literature. *Asian Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 23 (2011): 161-166.
- [33] EC Coculescu,, A Radu, BI Coculescu. Burning mouth syndrome: a review on diagnosis and treatment. *J Med Life.* 2014 Oct-Dec; 7(4): 512–515.
- [34] Gurvits GE, Tan A. Burning mouth syndrome. *J Gastroenterol.* 2013;19(5):665–672
- [35] Grigoriy E Gurvits and Amy Tan. Burning mouth syndrome. *World J Gastroenterol.* 2013 Feb 7; 19(5): 665–672.
- [36] Sardella A, Lodi G, Tarozzi M, Varoni E, Franchini R, Carrassi A. Acupuncture and burning mouth syndrome: a pilot study. *Pain Pract.* 2013;13(8):627–632
- [37] Bergdahl J (1995). Psychologic aspects of patients with symptoms presumed to be caused by electricity or visual display units. *Acta Odontol Scand* 53:304–310.
- [38] Buchanan JAG. Burning mouth syndrome. *Clin Evid (Online)* 2008:1301.
- [39] Rivinius C. Burning mouth syndrome: Identification, diagnosis, and treatment. *J Am Acad Nurse Pract.* 2009 Aug;21(8):423-9.
- [40] Sardella A, Lodi G, Dermarosi F, Benz C, Cassano S, Carrassi A. Burning mouth syndrome: a retrospective study investigating spontaneous remission and response to treatments. *Oral Dis* 2006;12:152–5.

APPORT DE L'HYDROGRAPHIE A LA CARTOGRAPHIE GEOLOGIQUE ET STRUCTURALE DANS LES REGIONS AU RECOUVREMENT TERRIGENE EPAIS: CAS DE L'INDICE D'OR "BAOULE EST" (CENTRE DE LA COTE D'IVOIRE)

[CONTRIBUTION OF HYDROGRAPY TO THE GEOLOGICAL AND STRUCTURAL MAPPING IN WIDE SOIL COVER REGIONS: CASE OF BAOULE-EAST (MID REGION OF COTE D'IVOIRE) GOLD OCCURRENCE]

Kadio Hilaire NIAMKE¹, Brou Etienne N'DRI¹, Mahaman Bachir SALEY², and Jean BIEMI²

¹UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

²Centre Universitaire de Recherche et d'Application en Télédétection (CURAT),
Université Felix Houphouët-Boigny, Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: This research is a contribution of indirect analyses to classic geological and structural mapping. The principles of this analysis is to combine structural streams and structural directions in the goal to find structural building of streams network. Streams were numerized under Arcview and the data of each stream was done. Frequency graphics of number and total length of streams on Strahler classification were built and interpreted with "lois des rivières". Recognition of Structural directions was done by the building of Prud'homme main valleys and Howard drainage anomalies.

Structural streams have affected by at least point 5 in hierarchy. They are held by N30°, N60°, N130°, N160° orientations. This methodology can be applied at all ivoirien drainage system due to their tree buliding. The main valley is host by N60° direction. Others valleys are holding by N30° N130° et EO. in the landscape, structural directions are sitting as drainage anomalies as directions deviations and linear streams. These directions are well knowed in ivoirien precambrian structural context.

KEYWORDS: structural streams, structural directions, main valleys, dranaige anomalies, loi de rivières.

RESUME: Cette étude est une contribution des méthodes indirectes à la cartographie géologique et structurale classique par télédétection. Le principe de l'étude est de combiner les drains structuraux et les directions structurales dans le but de révéler l'architecture structurale du réseau hydrographique. Les brins du réseau hydrographique ont été sous Arcview numérisés et renseignés individuellement sur leurs longueurs et leurs directions. Afin de détecter les drains qui ont une origine structurale, les courbes de fréquences du nombre des drains et des longueurs cumulées en fonction des ordres de Strahler ont été construites puis interprétées à l'aide de la "loi des rivières". La reconnaissance des directions structurales fut établie par l'élaboration de la carte des principales vallées selon les approches de Prud'homme et les anomalies de drainage de Howard.

Les drains qui ont été mis en place par les structures géologiques sont au moins d'ordre 5. Elles sont préférentiellement orientées N30°, N60°, N130°, N160°. Cette méthodologie peut s'appliquer à tous les bassins versants ivoirien car ils ont tous une structure arborescente. La vallée principale est orientée N60°. Les autres vallées sont disposées suivant les directions N30° N130° et EO. Dans le paysage, elles représentent les anomalies de drainage que sont les changements brusque de directions et la rectilinearité. Ces orientations sont bien connues dans le contexte structural du précambrien ivoirien.

MOTS-CLEFS: drains structuraux, directions structurales, principales vallées, anomalies de drainage, loi des rivières.

1 INTRODUCTION

La cartographie géologique et structurale a pour principal objet l'affleurement [1] (Scanvic, 1983). La télédétection de par son caractère synoptique contribue énormément à la recherche des affleurements (Lavreau, et Tréfois, 2002). De plus, elle fournit la trame linéamentaire qui constitue le support de l'élaboration du bâti structural. Cependant la trame est constituée de linéaments topographie, de linéaments artificiels et de linéaments structuraux [2] (Prud'homme, 1972). Ces derniers qui sont ceux qui intéressent la cartographie géologique sont identifiés à l'aide des affleurements. De ce fait la cartographie géologique et structurale constitue un exercice complexe lorsque les affleurements sont rares. Le choix de l'hydrographie tient essentiellement du rôle géologique des cours d'eau tel que clarifié par [3] Horton (1945), [4] Howard (1967), cités par [5] Gioan (1985), et [6] Defontaines (1990). Selon ces auteurs, le réseau hydrographique constitue jusqu'à un certain degré, des empreintes de la fracturation et des autres structures géologiques. Dans le cas particulier de la Côte d'Ivoire, les principaux accidents tectoniques du Précambrien, détermine le trajet des cours d'eau [7] (Biemi, 1992). L'hydrographie pourrait renseigner d'emblée sur certaines dispositions structurales avant toute approche quantitative.

Selon [8] Arnould (1961) l'indice d'or "Baoulé-Est" l'un des trois indices majeurs du centre de la Côte d'Ivoire et le seul dont les études de prospection n'ont pas abouti à la mise en évidence d'un gisement. Localisé dans un paleobassin de formations à granulométrie fine [9] (Delor, 1995), il est naturellement est pauvre en affleurements. C'est ainsi que l'indice d'or "Baoulé-Est" a été choisi comme secteur pour réaliser une étude test impliquant les caractéristiques du réseau hydrographique. Cette étude a pour thème : **Apport de l'hydrographie à la cartographie géologique et structurale dans les régions au recouvrement terrigène épais : cas de l'indice d'or Baoulé-Est (Centre de la Cote d'Ivoire).**

Le principal objectif de ce travail est de combler les lacunes en informations structurales d'une cartographie géologique classique par télédétection. Il s'agit de constituer :

- une base numérique qualitative et quantitative du réseau hydrographique ;
- de détecter les drains ayant une origine structurale ;
- de mettre en évidence les directions structurales du drainage.

2 PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

La zone d'étude (figure 1) est une région du centre de la Côte d'Ivoire comprise entre les longitudes (4° 00'W et 4° 45'W) et les latitudes (7° 00'N et 6° 30'N). Il s'agit d'une importante portion des régions administratives du N'zi et du Moronou dont les villes de Dimbokro et de Bongouanou sont respectivement les chef-lieux.

Selon la SODHEXAM [10] (Paturol et al, 1998), le climat de la région d'étude est une transition entre le climat humide (atténué à deux saisons de pluies et deux saisons sèches) caractéristique de tout le sud de la Côte d'Ivoire et le climat sec (soudanais avec une importante saison sèche) du nord. Ce climat qui est appelé Baouléen, occupe tout le centre de la Côte d'Ivoire. Les variations mensuelles des précipitations de l'ensemble des stations sur une période allant de 1988 et 2002 (Figure 2) confirment l'existence de deux saisons pluvieuses. Les mois de mai et juin enregistrent les plus grandes quantités de pluies. Les fortes pluies reprennent de septembre à octobre après les récessions de juillet et d'Août. Cette baisse de la pluviométrie est cependant plus importante que celle qui est vécue à la fin et au début de l'année, de novembre à février. C'est au cours de cette dernière période que sont enregistrées les sécheresses [11] (Biémi et al, 1997). Il convient de souligner que la variation moyenne des niveaux de pluies entre les périodes sèches et humides est de 30 mm. Ce faible écart ne traduit pas une intensité similaire des pluies des deux périodes pluvieuses ci-dessus énumérées.

Le Bandama dont les affluents notamment le N'zi, draine la plus grande partie de la zone d'étude, est l'un des "appareils" Hydrologiques majeurs de la Côte d'Ivoire (Ivoirgeo, 2002). Il est l'unique fleuve ayant bassin versant (97 500 km²) entièrement localisé en Côte d'Ivoire. La ligne de séparation des eaux correspond aux sommets alignés suivant la direction NE des collines de Bongouanou (figure 3). Les affluents du N'zi (Ourougo, Mandia, Boya, Songan, N'tipin) occupent 80 % de la zone d'étude. Ceux de l'Agneby dans la partie Est ne représentent que 20% du secteur. Le tracé du N'zi est très méandrique. L'écoulement est doublement orienté ESE et ENE. Le N'zi circule dans des vallées larges au sein d'un ensemble monotone caractérisé par des plateaux séparés les uns des autres par des talus de dimensions modestes qui sont cependant très visibles dans le paysage. Le bassin versant marginal de l'Agneby est représenté par l'Agbo et ses affluents. L'Agbo circule dans des vallées étroites et entaillées. Ce paysage accidenté bien que ne présentant pas de véritables pics (les altitudes ne dépassent guère 100m), est favorisé par l'action de la couverture des forêts ombrophiles.

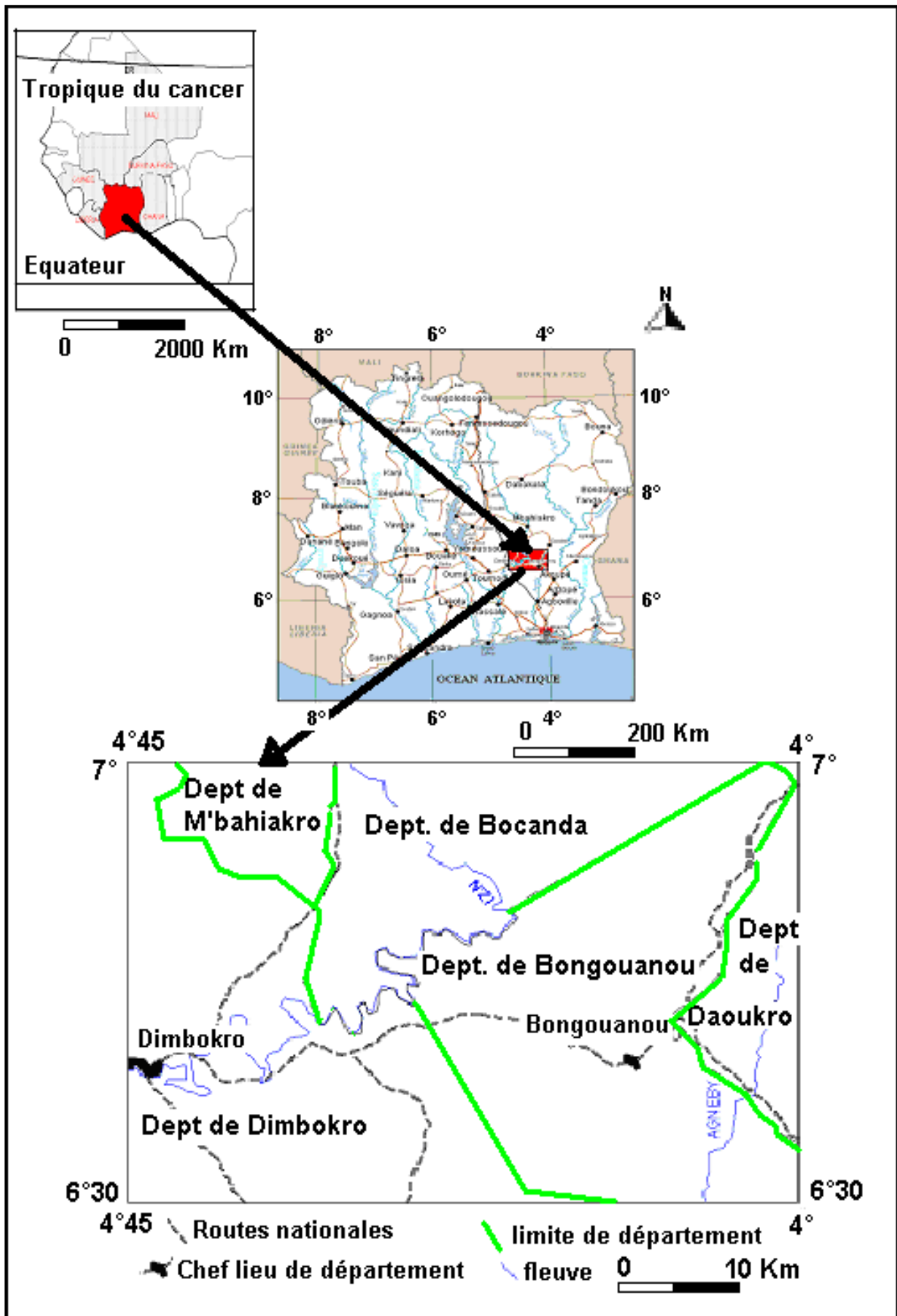


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude (Source, Ivoiregéo, 2002 ; CCT, 1994)

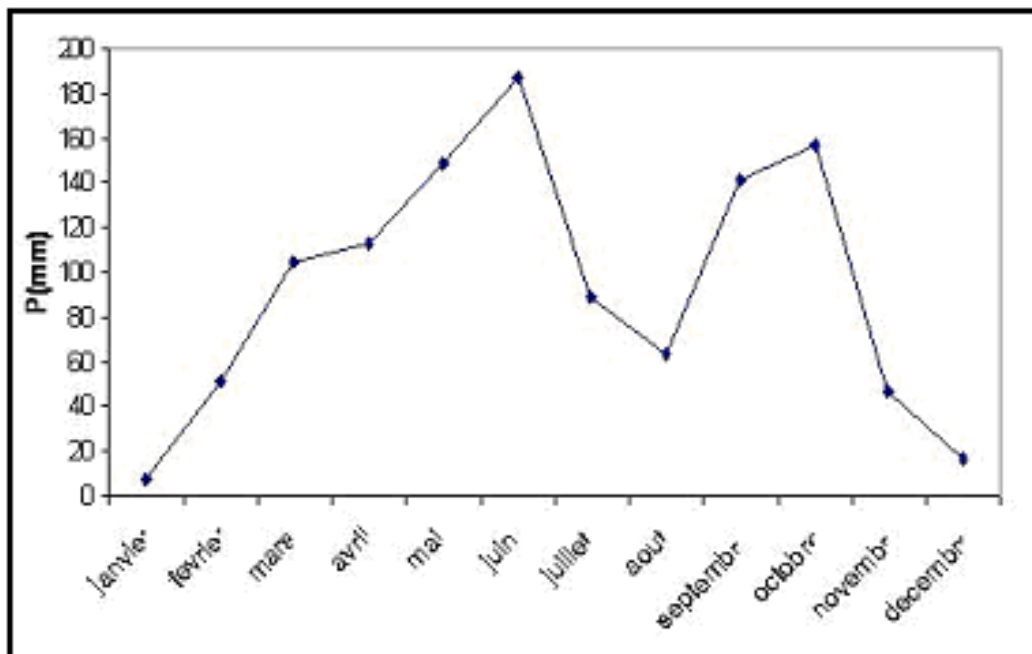


Figure 2 : Courbe des variations mensuelles des pluies de la région d'étude de 1988 à 2002.

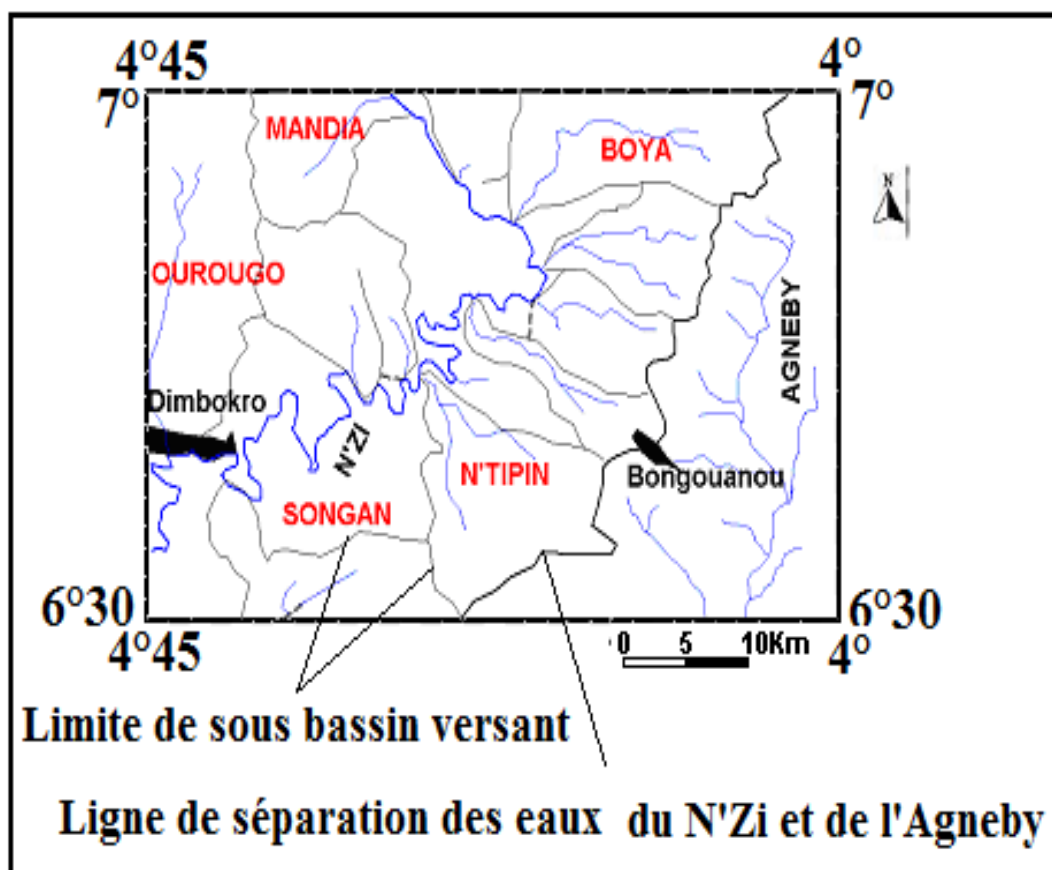


Figure 3 : Principaux sous bassins versants de la région d'étude (extrait de la carte topographique de Dimbokro au 1/200000 du CCT).

La carte géologique de Dimbokro [9] (Delor et al, 1995) révèle les caractéristiques ci-après. Situé dans l'Ouest, le domaine des granitoïdes est constitué de granites concordants à deux micas, de granites à biotite et de métagranites à biotite. En dehors du bloc ouest, la région est essentiellement constituée d'une variation latérale de schistes silteux et de schistes arénacés. Elle est parfaitement intégrée dans le paleobassin de la Comoé [11] (Tagini et Gobert, 1972) et [12] (Yacé, 2002). La région est un vaste plissement de formations redressées. Ce plissement est une succession de synformes et d'antiformes dont les axes orientés N30° et régulièrement disposés, indiquent qu'il s'agit de plis isopaques [13] (Vidal et Tempier, 1982).

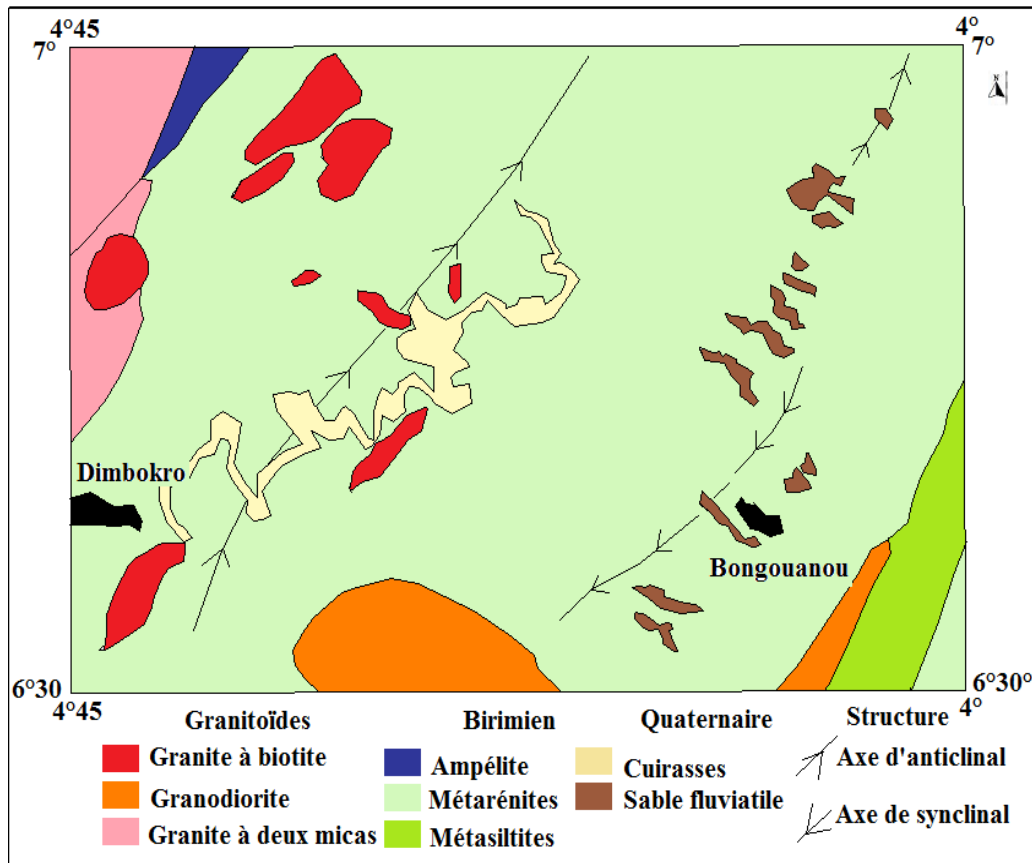


Figure 4 : Carte géologique de la région d'étude (Source : Delor et al, 1995)

Les affleurements sont rares. En effet, seuls cinq affleurements ont été observés sur la zone d'étude (4537,5 km²) qui représente approximativement la moitié de la surface d'un degré carré (12100 km²). Le mode d'affleurement (figure 5) dans cette zone savanicole est fonction de la nature des roches et de la densité du couvert végétal. En effet, Les granites sont sous forme de "boules flottantes" sur les surfaces non couvertes (villages). Ils sont sous forme de blocs lorsque la végétation est de type arbustif. Lorsque la couverture végétal est faible (paille), les granites sont sous forme de dalles. Les affleurements sains de schistes sont localisés dans le N'zi, précisément dans les zones de rupture de pentes (Kouadio-Tèkro et à Yébouébo). Les affleurements sont caractérisés par une faible extension qui est de l'ordre de l'hectare.

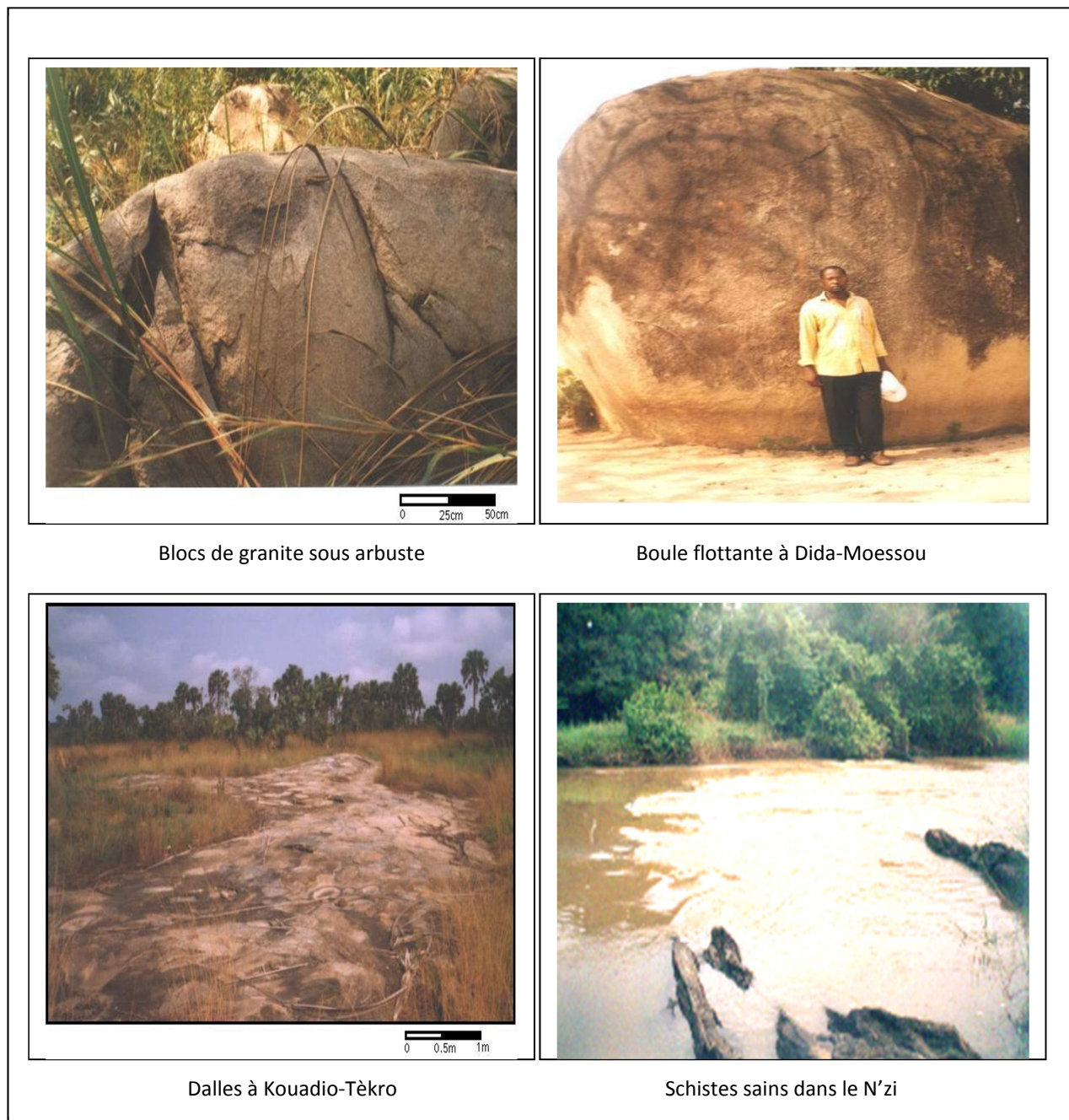


Figure 5 : Modes d'affleurement

3 MATERIEL ET METHODE

3.1 MATÉRIEL

Les données cartographiques prises toutes à l'échelle 1/200000 sous formes numériques raster géocodés, sont la carte topographique de Dimbokro produit par le CCT en 1995 à partir des données de l'Institut de Géographie National Paris récoltées en 1966; la carte géologique de Dimbokro produit par la Direction de la Geologie en 1995.

La carte topographique a constitué la donnée source des opérations qui ont servi à l'extraction par la digitalisation des drains. Cette numérisation des drains a utilisé le logiciel Arcview V 3.2. La carte géologique de Dimbokro fut utile à la validation des résultats à caractères géologiques et structuraux.

3.2 DETECTION DES DRAINS AYANT UNE ORIGINE STRUCTURALE

3.2.1 NUMÉRISATION DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE

Sous arcview, la digitalisation a pour intervalle l'espace compris soit entre une source et un nœud soit entre deux nœuds. A chaque drain ainsi individualisé, on affecte sa longueur mais aussi son azimuth lorsqu' il est rectiligne.

3.2.2 HIÉRARCHISATION DES DRAINS [14] (STRAHLER, 1968)

Construction des courbes du nombre des drains et des longueurs des drains en fonction des ordres ; application de la "lois des rivières" de [3] Horton (1945) et [14] Strahler (1968).

Le niveau d'implication de l'architecture structurale du socle dans la mise en place des drains fut étudiée par l'élaboration des courbes du nombre des drains et des longueurs des drains en fonction des ordres de [14] Strahler (1968). La hiérarchisation du réseau hydrographique selon la méthode de Strahler, est une méthode qui est basée sur le degré de collection des drains. De ce fait, elle accorde une importance particulière aux interconnexions des drains. L'interprétation des courbes s'est appuyée sur les modèles définis par la "lois des rivières" de Horton et Strahler. Cette loi affecte à chaque allure des courbes de drains en fonction des ordres, une signification topographique et structurale en révélant les ordres qui sont influencés par la structurale.

3.3 DETECTION DES DIRECTIONS STRUCTURALES ET DES ANOMALIES DE DRAINAGE

3.3.1 PRODUCTION DE LA CARTE DES PRINCIPALES VALLEES

Cette approche fut inspirée des travaux de [2] Prud'homme (1972) qui a défini les directions structurales comme étant celles qui sont parallèles aux principales vallées. A l'intérieur de chaque sous-bassin versant, les confluences des drains de même ordre sont reliées par des courbes afin de tracer les courbes d'iso-ordres. Une courbe d'iso-ordre est une courbe qui passe par tous les points de confluence des drains de même ordre à l'intérieur d'un sous bassin versant. Les courbes d'iso-ordres permettent de révéler la morphologie des vallées. La courbe d'iso-ordre 1 est la courbe qui passe par les confluences qui donnent naissance à des cours d'eau d'ordre 2. De cette manière, les courbes d'iso-ordre 2, 3, 4, 5 etc. ont été établies.

3.3.2 RECENSEMENT DES ANOMALIES DE DRAINAGE SELON [4] HOWARD (1967)

Howard a mis en évidence neuf particularités du drainage qui ne respectent pas les règles de la pesanteur dans la collection des drains. Ces dispositions empruntent les accidents du substratum et les autres zones de faiblesses du bâti structural des roches. Elles traduisent de ce fait, des spécifications structurales dans un contexte global. Les anomalies de drainage de Howard furent recherchées au sein du réseau hydrographique.

Une combinaison additive des résultats obtenus va aboutir à l'architecture structurale du réseau hydrographique. La figure 6 est un récapitulatif de la méthode.

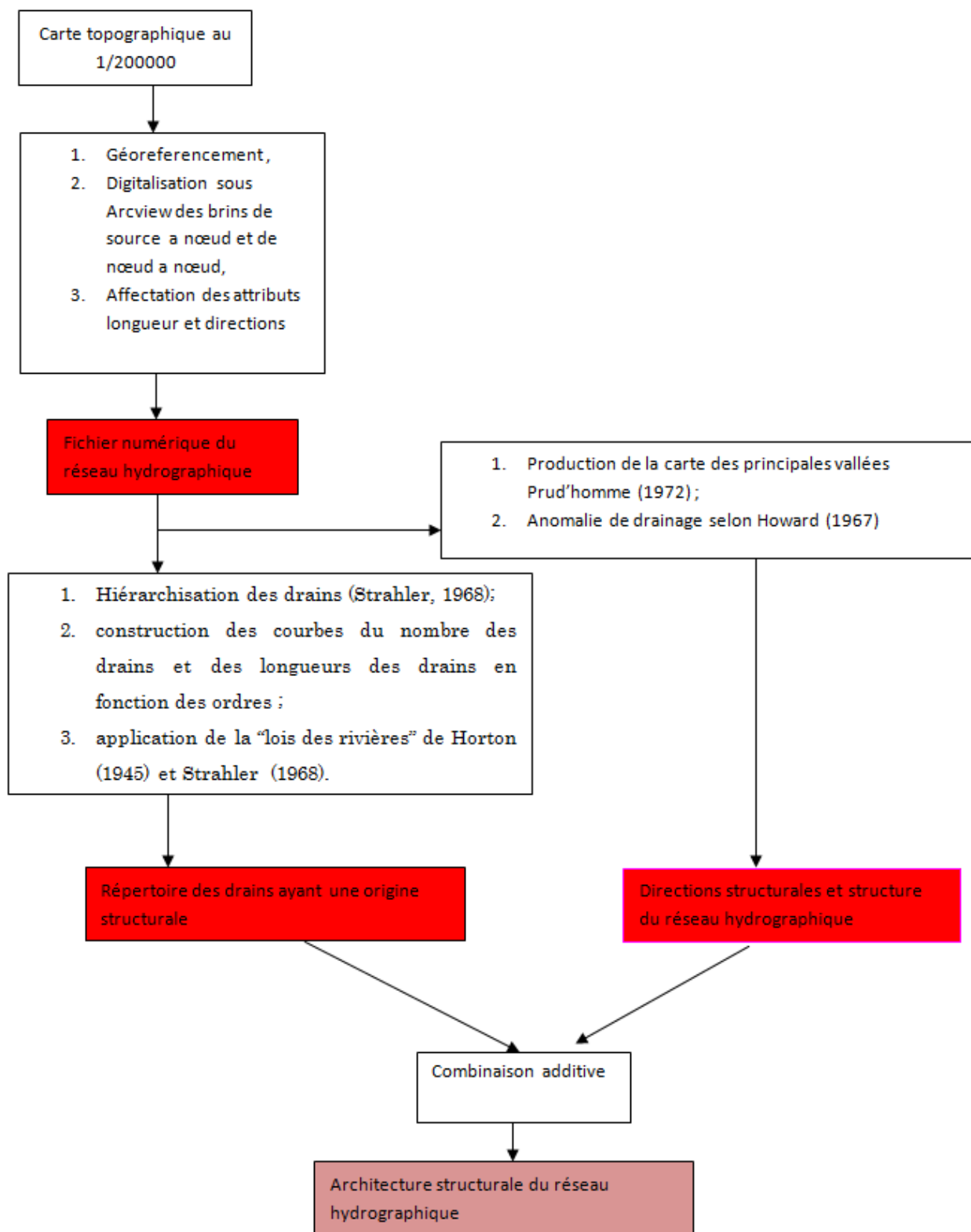


Figure 6 : Cheminement de la Méthode

4 RESULTATS

4.1 STATISTIQUES DES DRAINS EN FONCTION DES ORDRES

Le tableau I est un récapitulatif des données statistiques des drains en fonction des ordres. Le coefficient d'asymétrie qui traduit le comportement de la population par rapport à la moyenne est identique pour les deux paramètres traités. Cette situation présente l'avantage de réaliser une interprétation unique qui est acceptable dans les deux cas. Le constat majeur est que ce coefficient est positif et qu'il est proche de 2. Cette observation traduit une concentration de la population au niveau des proportions deux fois supérieures à la moyenne. L'ordre 1 est la classe qui présente cette caractéristique. Une telle observation permet de conclure que l'essentiel du drainage est assuré par les affluents de petits ordres. Selon la loi des rivières, Les drains de petit ordre ont une origine purement topographique. Leur élimination du processus est une avancée vu qu'ils sont nombreux.

Tableau I : Données statistiques des drains en fonctions des ordres

Ordre	nombre de linéaments	longueur des linéaments
1	2700	300000
2	750	130000
3	250	70000
4	100	30000
5	30	25000
6	5	20000
	Ecart type :1046.39	Ecart type :108278.19
	moyenne :639.16	moyenne:95833.33
	coefficient d'asymétrie :2.10	coefficient d'asymétrie :1.76

4.2 CARACTÉRISATION DES DRAINS STRUCTURAUX

4.2.1 ALLURE DES COURBES DU NOMBRE DES DRAINS ET DE LA LONGUEUR DES DRAINS EN FONCTION DES ORDRES

Les courbes du nombre des drains et de la longueur des drains en fonction des ordres (figure 7), ont logiquement (les coefficients d'asymétrie sont identiques) la même allure. Il s'agit de courbes paraboliques à décroissance exponentielle tendant vers une asymptote horizontale. En effet, de l'ordre 1 à l'ordre 4, les courbes décroissent très rapidement selon deux types de pentes fortes. La pente est abrupte de l'ordre 1 à l'ordre 2. Ensuite, la pente est moins raide entre l'ordre 3 et l'ordre 4. Les courbes se stabilisent à partir des ordres 5 et 6. Ces courbes sont régies par une loi exponentielle avec des coefficients de corrélation proches de 1 ($R^2=0,97$ et $R^2= 0,98$).

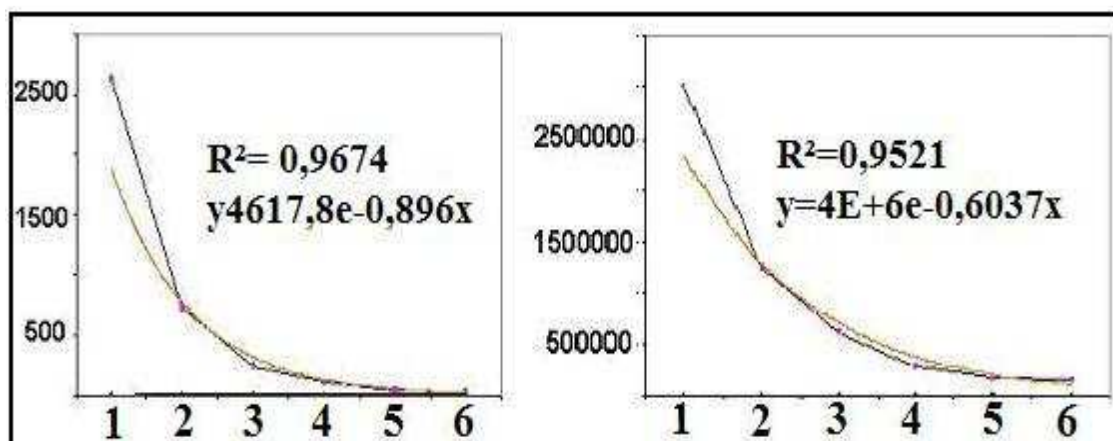


Figure 7 : Courbes du nombre des drains et de la longueur des drains en fonction des ordres

4.2.2 INTERPRETATION DES COURBES DU NOMBRE DES DRAINS ET DE LA LONGUEUR DES DRAINS EN FONCTION DES ORDRES

Ces courbes selon la loi des rivières peuvent être interprétées de la façon suivante. Au fur et à mesure que les connections deviennent importantes, l'eau acquiert, une énergie lui permettant de modeler le relief par le biais de l'érosion. Lorsque l'eau a une énergie forte et un important volume, elle se crée un chemin en empruntant les zones de moindres résistances que sont les éléments de la fracturation. Ce dernier aspect s'exprime dans les courbes par la stabilisation des facteurs entre les drains de niveau consécutifs. C'est le cas des drains d'ordres 5 et 6 qui de ce fait portent les marques de la fracturation. La reconnaissance de ces drains fut possible avec l'exploitation de la carte des principales vallées.

4.3 DIRECTIONS STRUCTURALE ET STRUCTURES DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

4.3.1 CARACTÉRISATION DES PRINCIPALES VALLÉES

Les principales vallées (figure 8) retracées à partir des courbes d'iso-ordre permettent la reconnaissance de cinq niveaux d'iso-ordre. La vallée de plus grand ordre qui correspond naturellement à celle du N'zi, est orientée N60°. Cette vallée dont la largeur moyenne est estimée à 10 km est globalement étendue. Les "excroissances" de cette vallée qui d'ailleurs sont fines ont une orientation N 130°. La partie centrale de la vallée du N'zi est rétrécie par un amincissement qui est étiré suivant la direction NS. Les vallées d'ordre 4 sont étroites et préférentiellement orientées (N130°, N30°, NS, N30° et N160°).

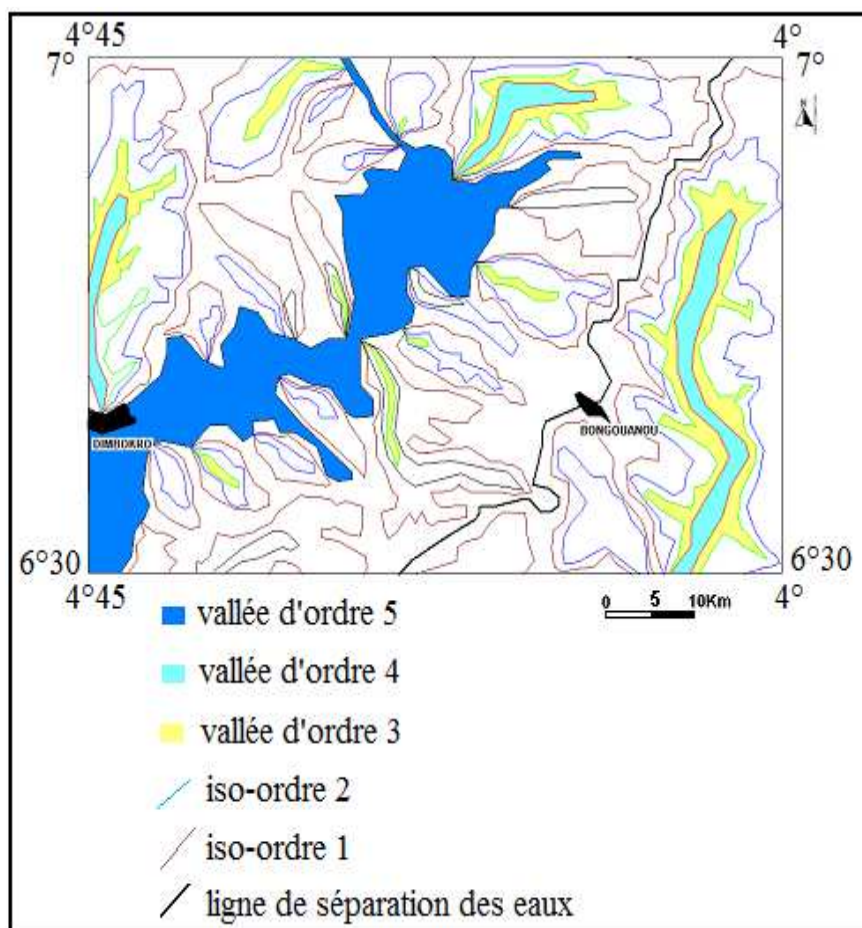


Figure 8 : Carte des principales vallées

4.3.2 ANOMALIES DE DRAINAGE

Les anomalies de drainages observées sont les changements brusques de direction et la rectilinéarité (figure 9). Les affluents Ourougo, Mandia et Bongo qui sont situés sur la rive gauche du N'zi sont rectilinéaires. Ils s'écoulent

respectivement selon les directions N30° et N130°. Sur la rive droite, le N'tipin suit un écoulement N130° qui correspond à celui du Bongo. La Boya en amont suit un écoulement rectiligne EO. Les changements brusques de directions du N'zi et ses affluents sont matérialisés par les directions N60°, NS et EO. Au niveau de l'Agneby, l'unique changement brusque de directions est matérialisé par la direction N130°.

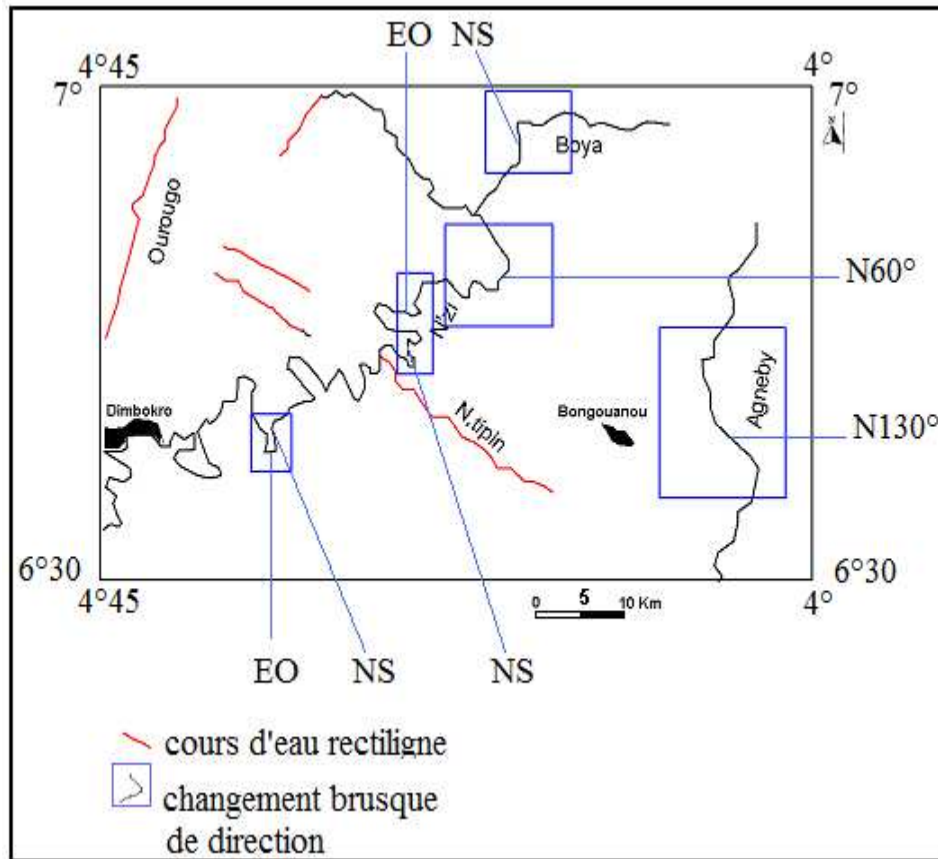


Figure 9 : Anomalies de drainage

5 DISCUSSIONS

Le premier constat qui émane de l'approche hydrographique est que dans la région d'étude, les drains qui sont modélisés par la structurale sont au moins d'ordre 5. Cette observation peut être rattachée à la majorité des fleuves ivoiriens car ils sont tous caractérisés par une architecture arborescente similaire [7] (Biemi, 1992). De cette observation, il découle que l'approche hydrographique contribuerait largement aux esquisses structurales. L'analyse des drains d'ordre supérieur ou égal à 5 que soit par la carte des principales vallées ou par les anomalies de drainage a soutenu le caractère structural des directions NS et EO. A ce sujet, ces directions ont fortement influencé le tracé du N'zi dans des proportions des effets de l'accident N60° de la Comoé. Cet accident qui est postérieur aux principales structures qui abritent les principaux fleuves ivoiriens a fortement perturbé l'écoulement NS. Les directions NS, EO et N60° constituent les directions essentielles des zones tectoniques. Ces couloirs de cisaillements portent les minéralisations aurifères [15] (Sonnendrucker, 1967).

Le recours à l'hydrographie a nécessité pour son interprétation des techniques qui ont été mises au point il y'a au moins quarante 40 ans [3] et [14] (Horton, 1945, Strahler, 1967). Cet aspect traduit le fait que depuis quelques décennies, les techniques hydrographiques ne s'intéressent pas à la géologie. A ce sujet les travaux les plus récents qui furent retrouvés dans la bibliographie sont ceux de [16] Bourget (1981). Les subtilités géologiques que l'hydrographie a mises en évidence dans le cadre de la présente étude devraient contribuer à un développement de ces techniques qui ont été abandonnées avec l'avènement de l'imagerie satellitaire. Or l'imagerie satellitaire fournit une trame linéamentaire dont l'interprétation doit recourir aux analyses indirectes.

6 CONCLUSIONS

L'exploitation de l'hydrographie a mis en évidence les faits marquants ci-après décrits. Au niveau de la région d'étude, les drains structuraux correspondent aux drains dont l'ordre est supérieur à 4. Cette information est intéressante car elle pourrait être étendue à tous le bassin versant du N'Zi afin de contribuer à la cartographie structurale. Le caractère structural des directions NS, N30°, N60°, N130°, N160°, est confirmé par une omniprésence de ces directions quelque soit la technique hydrographique mis en œuvre. La direction N30° et 130° de la schistosité et des crénulations (niveau structural inférieur), contrairement aux directions de la fracturation EO, N60°, N160° et NS n'ont aucune influence sur la mise en place des gîtes minéraux. La direction N60° est la direction la plus récente. Elle a influencé les anciennes structures. La direction EO jusqu'alors méconnu est de type structural.

REFERENCES

- [1] J. Y SCANVIC., "Utilisation de la télédétection dans les sciences de la terre." *Bureau de recherches géologiques et minières, Manuel et méthodes* n°7. 1983.
- [2] R. PRUD'HOMME, "Analyse morphostructurale appliquée à l'Aquitaine occidentale et au golfe de Gascogne. Définition d'une méthodologie cartographique interprétative." *Thèse de Doct. D'état, Univ. De Bordeaux I*, n°353, 365 p., 1972.
- [3] R.E. HORTON, "Erosional development of streams and their drainage bassins: hydrological approach to quantitative morphology." *Bull. Géol. Soc. Am., New york*, vol 56, pp. 275-370, 1945.
- [4] A.D. HOWARD, "Drainage analysis in geological interpretation." *Bull. Am. Geol.* 3300p., 1967.
- [5] P. GIOAN, "Description et analyse préliminaire des alignements hydrographiques du massif du Chaillu et de sa bordure méridionale (République du Congo)." *Rév. Géologie dynamique et de géographie physique*. Vol.26, Fasc. N°5, Paris.pp. 299-310, 1985.
- [6] B. DEFONTAINES, "Principles of drainage basin analysis from multisource data." *Tectonophysics* N°194. 300 p., 1990.
- [7] J. BIEMI, "Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahéliens du socle cristallin d'Afrique de l'Ouest : hydrostructurale, hydrodynamique et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire) ". *Thèse de Doctorat d'état, Université nationale de Côte d'Ivoire*, 479 p., 1992.
- [8] M. ARNOULD, "Étude géologique des migmatites et des granites précambriens du Nord-Est de la Côte d'Ivoire et de la Haute Volta méridionale. *Bulletin n°1, Direction de la Géologie et de la Prospection Minière, Abidjan*, 175 p. 1961.
- [9] C. DELOR, Y. SIMEON, A. KOUAMELAN, J. J. PEUCAT, "Persistence de processus archaïques de création crustal au birimien (Paléoprotérozoïque) en Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest) ". *Réunion des Sciences de la Terre. S. G. Fr.*, n°10. 1995.
- [10] J.E. PATUREL, E. SERVAT, et M.O. DELATTRE, "Analyse de séries pluviométriques de longue durée en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne dans un contexte de variabilité climatique". *Journal des Sciences Hydrologiques*, vol. 43, n° 3, pp. 937-945, 1998.
- [11] J. BIEMI, J.P. JOURDA, S. DESLANDES et H. GWYN "Positionnement, productivité et gestion des forages en milieu fissuré de Côte d'Ivoire par télédétection et système d'information géographique". *Actes de l'Atelier international sur la télédétection et la gestion des ressources en eau, Éd. FAO, Rome*, pp. 245-268, 1997.
- [12] I. YACE, "Initiation à la géologie : l'exemple de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest." *SODEMI, CEDA*, 183 p., 2002.
- [13] M. VIDAL, P. TEMPIER, "Sur l'importance de certains accidents dans le Birrimien du Nord-Est de la Côte d'Ivoire (Haute Comoé) ", *Présenté oralement à la conférence de la géologie africain, Nairobi (Kenya), du 11 au 19 décembre 1982.*, 1982.
- [14] A. N. STRAHLER, "Quantitative geomorphology". In « Encyclopedia of Geomorphology » R. W FAIRBRIDGE _ Reinhold Book Corp., New York, t. III, pp. 898-912, 1968.
- [15] P. SONNENDRUCKER, "Synthèse sur les gîtes d'or en Côte d'Ivoire" , *SODEMI. Abidjan*, Pp 36-42, 1967.

UNE LOCALISATION RARE DES LEIOMYOMES: LA VULVE - A PROPOS D'UN CAS

[A RARE LOCATION OF LEIOMYOMAS: VULVA - ABOUT A CASE]

M. Bamohamed¹, H. Saoudi Hassani¹, O. Alhaderi², N. Zerai¹, A. Baidada¹, and A. Kharbach²

¹Service de gynécologie obstétrique et d'endoscopie gynécologique, Maternité Souissi,
Université Mohammed V Souissi,
Rabat, Morocco

²Service de gynécologie obstétrique et endocrinologie, Maternité Souissi,
Université Mohammed V Souissi,
Rabat, Morocco

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

ABSTRACT: Leiomyoma, known as a disease of the uterus, composed of smooth muscle fibers and collagenous stroma, is rarely encountered in other sites. We report here an exceptional case with a location of the labia minora with literature review. This is a 27-year-old patient was admitted to the mass of the left labium lasting for 9 month of firm consistency. The surgery allowed removal of a tissue-like measured 3 cm. The final histological diagnosis was vulvar leiomyoma.

KEYWORDS: leiomyoma, vulva, smooth muscle, pelvic MRI, exeresis.

RÉSUMÉ: Le léiomyome, connu comme une pathologie de l'utérus, constitué de fibres musculaires lisses fusocellulaires et de stroma collagène, est rarement rencontré au niveau d'autres sites. Nous rapportons, ici, un cas exceptionnel avec un cas de léiomyome de la petite lèvre avec revue de la littérature. Il s'agit d'une patiente âgée de 27 ans admise pour masse de léiomyome de la petite lèvre avec revue de la littérature. Il s'agit d'une patiente âgée de 27 ans admise pour masse de léiomyome de la petite lèvre avec revue de la littérature. Il s'agit d'une patiente âgée de 27 ans admise pour masse de léiomyome de la petite lèvre avec revue de la littérature. Le diagnostic histologique final était un léiomyome vulvaire.

MOTS-CLEFS: léiomyome, vulve, muscle lisse, IRM pelvienne, exérèse.

1 INTRODUCTION

De nombreuses tumeurs peuvent siéger au niveau de la vulve, et la plupart sont malignes.

Le léiomyome de la vulve est une entité rare ; 0,07 % dans une revue de 144 tumeurs vulvaires [1]. Le léiomyome de la vulve fait partie des tumeurs du muscle lisse de la vulve, ces dernières se présentent fréquemment comme des masses bénignes et peuvent être confondues cliniquement avec des kystes de la glande de Bartholin, elles posent aussi un problème de différenciation entre les formes bénignes et malignes.

2 MATÉRIEL ET METHODES

Patiente âgée de 27 ans ; nullipare, vierge sans antécédents pathologiques particuliers ; admise pour masse de la petite lèvre gauche ayant évolué progressivement depuis 9 mois.

L'examen avait noté une tumeur nodulaire de l'extrémité postérieure de la petite lèvre gauche pédiculé, de 3 cm non douloureuse, ulcérée et avec des signes inflammatoires en regard (Fig. 1 ; Fig. 2) ; le reste de l'examen était sans particularité.

Une échographie abdominopelvienne était normale, l'intervention chirurgicale a permis l'exérèse d'une structure d'allure tissulaire nacréée de 3 cm.

L'examen histologique avait montré une prolifération de cellules fusiformes, arrangées en faisceaux entrelacés, sur un fond myxoïde, ailleurs hyalinisé. Les cellules ont des noyaux tantôt allongés, à bout arrondis, tantôt ovalaires ou ronds, à chromatine fine sans atypie, ni figure mitotique visible. Les limites de résection sont saines. Les anticorps anti-desmine et anti-actine musculaire sont exprimés pour toutes les cellules tumorales. Le diagnostic histologique final était un léiomyome vulvaire. L'évolution clinique a été favorable après six mois de surveillance.



Fig. 1. *Tuméfaction de l'extrémité postérieure de la petite lèvre gauche*



Fig. 2. *Vue macroscopique du leiomyome excisé*

3 DISCUSSION

Les tumeurs du muscle lisse sont des tumeurs solides constituées de cellules musculaires lisses des cellules fusocellulaires et du stroma collagène (2).

Rarement localisées à la vulve, les leiomyomes vulvaires sont beaucoup plus fréquentes au niveau de l'utérus. Les tumeurs du muscle lisse de l'utérus ont leurs propres critères de malignité qui ne s'appliquent pas à celles du muscle lisse de la vulve. Les tumeurs du muscle lisse ont été classées initialement sur la base de leur emplacement superficiel ou profond. Les lésions génitales ont été placées dans la catégorie du muscle lisse superficiel qui inclut le léiomyome cutané et l'angioléiomyome.

Cependant, les tumeurs du muscle lisse du tractus génital distal diffèrent cliniquement et histologiquement de ceux du muscle lisse cutané et ne doivent pas avoir la même classification [3].

Trois catégories de tumeurs du muscle lisse sont actuellement reconnues, chacune avec ses propres critères de malignité, superficielle (inclus le mamelon), génitale (vulve, scrotum) et profonde (utérus).

Les tumeurs du muscle lisse de la vulve peuvent être rencontrées à différents âges, mais plus ordinairement après la puberté [1,3].

Ces masses sont d'habitude unique, bien circonscrites, d'évolution lente et sont de taille variable, mais ne dépassant pas 5 cm au moment du diagnostic. En revanche, quand elles sont malignes, elles ont tendance à être infiltrantes et de plus grande taille, supérieure à 50 mm [1,3].

L'échographie périnéale et spécialement vulvaire permet d'évoquer le diagnostic de fibrome vulvaire. Elle est suffisante lorsque la tumeur ne dépasse pas 4 cm. La tomodynamométrie est plus intéressante pour des tumeurs de plus grande taille, elle montre une lésion hypodense hétérogène sans signe spécifiques permet en effet de mieux décrire les rapports profonds de la tumeur et de détecter d'éventuelles lésions osseuses. L'IRM reste le meilleur outil radiologique pour analyser et caractériser les lésions vulvaires [4], elle peut orienter vers le diagnostic de léiomyome vulvaire en montrant une lésion caractérisée par un hyposignal en T2 et un signal intermédiaire ou un hyposignal en T1 et qui peut être rehaussée par l'injection de gadolinium [5, 6,7].

Le diagnostic de certitude est fait par l'étude anatomopathologique avec étude immuno-histochimique, permettant de mettre en évidence une tumeur constituée de cellules fusiformes identifiés comme fibres musculaires lisses par le marquage par des anticorps antidesmine et antiactine muscle lisse comme dans notre cas.

Les tumeurs du muscle lisse de la vulve présentent trois principaux modèles histologiques, en fuseau, épithélioïde et myxohyalin. Ces modèles peuvent être mélangés ou pur [8].

L'excision chirurgicale en monobloc reste le seul traitement des leiomyomes vulvaires, la tumeur est abordée généralement par voie périnéale, comme chez notre patiente, mais lorsque la tumeur est vulvo-vaginale et/ou volumineuse l'abord abdomino-périnéal s'avère nécessaire.

En raison de la relative rareté des tumeurs du muscle lisse de la vulve et des séries de cas avec suivi à long terme, il existe des difficultés à prédire avec fiabilité le risque de récurrence et de différencier entre tumeurs malignes et bénignes, d'où l'intérêt d'un suivi à long terme.

Des auteurs ont proposé des critères pour distinguer entre léiomyome et léiomyosarcome de la vulve [9]. Les tumeurs qui présentent trois ou toutes les caractéristiques suivantes doivent être considérées comme sarcome :

- > 5 cm dans sa plus grande dimension ;
- marges infiltrantes [10] ;
- > 5 mitoses par dix champs au fort grossissement ;
- atypie cytotologique modérée à sévère.

Des études ont montré qu'il y a une association avec le syndrome d'Alport, caractérisé par une glomérulonéphrite héréditaire, associée à une surdité et des anomalies oculaires. Parfois ce syndrome est associé à une leiomyomatose des voies aérodigestives et génitales supérieures. Dans le syndrome d'Alport, on note une déféctuosité du collagène type IV, qui est un composant essentiel des membranes (y compris celles du rein et du muscle lisse) [11].

4 CONCLUSION

Le léiomyome de la vulve est une entité rare. Elle se présente typiquement comme une masse sous-cutanée d'allure bénigne. L'échographie périnéale et vulvaire est l'examen radiologique de première intention. L'IRM est le meilleur outil radiologique pour caractériser la tumeur et étudier ses rapports. L'histologie donne le diagnostic et permet d'éliminer un léiomyosarcome. Le léiomyome et le léiomyome atypique doivent bénéficier d'un traitement conservateur avec surveillance prudente et à long terme vu le risque de récurrence.

REFERENCES

- [1] Nielsen GP, Rosenberg AE, Koerner FC, Young RH, Scully. RE. Smooth-muscle tumors of the vulva: a clinicopathologic study of 25 cases and review of the literature. *Am J Pathol* 1996;20:779—93.
- [2] Stevens L (1997) *Anatomie pathologique générale et spéciale*. Paris: De Boeck and Larcier: 361–86
- [3] Newman PL, Fletcher CDM. Smooth muscle tumours of the external genitalia: clinicopathological analysis of a series. *Histopathology* 1991;18:523—9.
- [4] Akakpo J, Lauratet B, Badachi Y, Genestie C, Capron F, Lefranc J, et al. Les lésions vulvo-vaginales: aspects en imagerie avec corrélation anatomo-clinique. *J Radiol* 2007;88(10):1512—3.
- [5] Roue A, Laboisie C, Winner N, et al (2007) Léiomyome pelvien extrautérin: diagnostic et prise en charge. *J Gynécol Obstét Biol Reprod* 36: 403–8CrossRef
- [6] Smitha V Nidhane, Sachchidananda Maiti, Dillshad Shareef, et al (2009) An unusual presentation of a vaginal leiomyoma in a post menopausal hysterectomised women: a case report. *Cases J* 2: 6461CrossRef
- [7] Fasih N, Shanbhogue PAK, Macdonald DB, et al (2008) Léiomyomas beyond the uterus: unusual localisations, rare manifestations. *Radio Graphics* 28: 1931–48
- [8] Nucci MR, Fletcher CDM. Vulvovaginal soft tissue tumours: update and review. *Histopathology* 2000;36(2):97—108.
- [9] Pittukijronnakorn S, Leelachaikul P, Chittacharoen A. Labial leiomyoma: a case report. *J Med Assoc Thai* 2005;88(1):118—9.
- [10] Zhou J, Ha BK, Schubeck L, Chung-Park M. Myxoid epitheloid leiomyoama of the vulva: a case report. *Gynecol Oncol* 2006;103(1):342—5.
- [11] Miner JH. Alport syndrome with diffuse leiomyomatosis. When and when not? *Am J Pathol* 1999;154(6):1633—5.

Le tourisme solidaire, outil de la valorisation des ressources territoriales: Cas de l'association migration et développement

[Solidary tourism, enhancement tool of territorial resources: "L'association migration et développement" Case]

Firdaous GMIRA¹ and Tariq LAJIN²

¹Professeur Habilité à diriger des recherches, Laboratoire de recherche en économie théorique et appliquée, Université Hassan 1^{er}, Faculté des sciences juridiques, économiques et sociales, Settat, Maroc

²Doctorant en sciences économiques, Laboratoire de recherche en économie théorique et appliquée, Université Hassan 1^{er}, Faculté des sciences juridiques, économiques et sociales, Settat, Maroc

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

ABSTRACT: Being aware of the importance of reconsidering the touristic activity and according to the definition of the notion of sustainable development, Moroccan public authorities have set up since the year 2000 some sectoral strategies to adapt the tourist supply in accordance with the new requirements of the tourists. The emergence of this variety of tourism offers (rural, solidary, ethical, Community...) certifies the vivacity of a phenomenon in full development. These new offers have a common denominator: it is to combine the environmental protection and the economic profitability in a long run. What is the context in which this responsible, solidary touristic activity has emerged? What is, then, the commitment of Morocco in this new touristic offer? What are the efforts of certain associations for contributing to the territorial development?

To answer these questions of research, we will, first, present a review of the literature about the evolution of mass tourism to durable tourism. Secondly, we will treat the importance of solidary tourism to valorize the specific resources of the territory in order to sit a territorial development.

KEYWORDS: Solidary tourism, territorial development, specific resources, valorization.

RESUME: Avec la prise de conscience de l'importance de repenser l'activité touristique, au lendemain de la définition de la notion du développement durable, les pouvoirs publics au Maroc ont mis en place depuis l'an 2000, des stratégies sectorielles pour adapter l'offre touristique conformément aux nouvelles exigences des touristes. L'émergence de ces offres touristiques variées (rural, solidaire, éthique, communautaire...) atteste de la vivacité d'un phénomène en constant bouillonnement, le dénominateur commun: c'est de conjuguer la protection de l'environnement et la rentabilité économique de long terme.

Quel est donc le contexte d'émergence du tourisme solidaire et responsable? Quel engagement du Maroc dans cette nouvelle offre touristique? Et dans quelle mesure les actions solidaires de certaines associations ont contribué au développement territorial?

Pour répondre à ces questions de recherche, nous allons présenter une revue de la littérature sur l'évolution du tourisme de masse au tourisme durable, nous montrerons à l'aide **d'une étude de cas**, l'importance du tourisme solidaire en tant qu'offre touristique durable dans la valorisation des ressources spécifiques du territoire en vue d'asseoir un développement territorial.

MOTS-CLEFS: tourisme solidaire, développement territorial, ressources spécifiques, valorisation.

1 INTRODUCTION

Dans la mouvance des années 80 et face à l'échec d'avoir un développement soutenu, un nouveau paradigme est apparu approchant ce phonème sous angle « territoriale ». Auparavant le développement a concerné des stratégies nationales ou sectorielles plus exogènes qu'endogènes donnant à l'Etat son pouvoir providentiel de décision sans recourir aux initiatives des acteurs locaux. Néanmoins, l'interventionnisme de l'Etat semble inopérant et inefficace surtout dans des espaces très fragiles qui demandent une mobilisation par le bas et non par le haut, cela signifie que le développement devra être déclenché à partir des niveaux inférieurs (population locale) et non supérieurs (les stratégies nationales).

Dans le renouvellement de cette problématique de développement, les acteurs locaux se voyaient avoir plus d'autonomie et de liberté pour participer au développement de leurs localités. Pour renforcer cette autonomie, le développement local est fondé sur le principe de la valorisation des ressources locales par les acteurs locaux, ce concept est fortement mobilisé dans les pays du Nord et relativement peu opérationnel dans les pays du Maghreb¹.

Face aux enjeux de la globalisation, la notion du local a été repensée, le concept territoire est devenu plus significatif que la notion du « local » pour caractériser un espace. Il est non seulement une zone renfermée et délimitée géographiquement mais un territoire construit par des dynamiques d'acteurs². Le territoire n'est pas un contenant passif, purement fonctionnel, réceptacle des décisions venant d'ailleurs mais plutôt un territoire fondé sur la co-décision, la négociation et la complémentarité des compétences et la construction collective des ressources.

Cette dynamique d'acteur assimile le territoire à un système de relations, qui par leurs interactions, aboutissent à la construction territoriale. Dans cette optique, le territoire est un construit socioéconomique résultant de la coordination des actions des différents acteurs du milieu. Le concept de gouvernance ou de coordination des acteurs correspond à une volonté majeure de la part des théoriciens de l'économie spatiale « *d'endogénéiser* »³ la variable spatiale en vue d'assurer une bonne allocation des ressources territoriales.

Sous l'effet de ce regain d'intérêt pour l'espace local, nous observons la construction d'une nouvelle configuration de territorialité débouchant sur de nouveaux mécanismes de coordination entre des acteurs publics (les autorités locales...), privés (les entreprises...) et sociaux (les associations, la population locale...). Cette pluralité d'acteurs aboutit à des combinaisons de stratégies pour résoudre un problème inédit⁴. La formulation de ces stratégies de fonctionnement du territoire est basée essentiellement sur la logique de la légitimité et de pouvoir.

Le tourisme de son côté est résumé comme « un changement provisoire d'habiter »⁵. C'est une activité économique à part entière qui ne cessera pas demain. Elle est génératrice de revenu- grâce à l'effet multiplicateur sur les autres secteurs de l'économie- un secteur qui crée de l'emploi et qui apporte des devises. Aujourd'hui, l'activité touristique figure parmi les activités de services les plus importantes dans le monde. Selon les dernières statistiques de l'OMT, les arrivées de touristes internationaux sont passées de 25 millions dans le monde en 1950 à 1,133 milliards en 2014. De même, les recettes touristiques internationales des destinations dans le monde ont bondi de 2 milliards de dollars en 1950 à 1,245 trillions de dollars en 2014. Le tourisme représente plus d'un tiers de l'ensemble du commerce mondial de services et il est l'un des secteurs de l'économie mondiale qui affiche la croissance la plus rapide⁶.

L'intérêt des économistes pour le tourisme en tant que système d'organisation est un phénomène récent, renforcé par l'essor de la concurrence internationale, une prise de conscience locale des enjeux économiques que représente ce secteur et par une meilleure connaissance des facteurs sociaux, culturels et environnementaux qu'il est nécessaire de maîtriser.

¹ Landel Pierre-Antoine (2001) « L'exportation du « développement territorial » vers le Maghreb : du transfert à la capitalisation des expériences. », *L'Information géographique* (Vol. 75), p. 39-57

² Colletis, G., Pecqueur, B. (1993). « Intégration des espaces et quasi intégration des firmes : vers de nouvelles logiques productives ». *Revue de l'économie régionale* N°3. PP 490-500

³ Terme utilisé par Hadjou Lamara, dans son article « Les deux piliers de la construction territoriale coordination des acteurs et ressources territoriales » *Revue : Développement durable et territoires- Juillet 2009*

⁴ Colletis, G., Pecqueur, B. (1993). « Intégration des espaces et quasi intégration des firmes : vers de nouvelles logiques productives ». *Revue de l'économie régionale* N°3. *ibid*

⁵ Hazebroucq Jean-Marie (2007) « Destinations innovantes et développement du tourisme. », *Marché et organisations* (N° 3), p. 117-153

⁶ *Observation économique du tourisme mondiale (25 avril 2016)*, [en ligne] in URL : http://www.veilleinfotourisme.fr/observation-economique-du-tourisme-mondial-previsions-poids-et-impacts-151453.kjsp?RH=TOU_INT

Sur le plan économique, plusieurs études inscrivent le secteur touristique comme une composante importante du développement régionale. Elles présentent alors les idées de tourisme intégré⁷ qui va constituer un modèle de développement touristique post-fordiste⁸ au profit d'une vision plus éthique qui prend en compte les besoins de la population locale en vue de minimiser les effets pervers de telle activité.

Cette évolution du regard porté au tourisme met en évidence les nouvelles préoccupations de développement durable qui devraient affecter l'offre touristique y compris la responsabilité sociétale de toutes les parties prenantes de cette activité.

Nous essaierons dans cet article de dresser un historique sur l'émergence du tourisme alternatif (I). Nous aborderons les actions entreprises par le Maroc pour la promotion du tourisme responsable (II) en nous appuyant sur une expérience structurée du tourisme solidaire rural (III)

2 DU TOURISME DE MASSE AU TOURISME ALTERNATIF

2.1 L'ÉMERGENCE DU TOURISME RESPONSABLE : APERÇU HISTORIQUE

Le tourisme de masse est une industrie juteuse mais il reste une activité commerciale dont les externalités négatives ne sont pas négligeables. Dans le changement paradigmatique qu'a connu la notion du développement, plusieurs offres touristiques douces ont vu le jour rendant hommage à l'homme et à la terre.

2.1.1 DE L'ANTIQUITÉ AU XVIIIÈME SIÈCLE

Le voyage dans l'histoire de l'humanité constitue une grande opportunité d'enrichissement, d'ouverture. MONTAIGNE souligne dans ses essais :

« J'observe en mes voyages cette pratique pour apprendre toujours quelque chose par la communication d'autrui, de ramener toujours ceux avec qui je confère, aux propos des choses qu'ils savent le mieux »⁹

En 1492, Christophe COULOMB découvrira l'Amérique. En 1551, c'est le guide des chemins de France par C. Estienne, ancêtre de tous les guides détaillés, qui voit le jour. En 1581, MONTAIGNE effectua son célèbre voyage en Italie, à partir duquel il rédigea son journal de voyage intime qui sera découvert fortuitement en 1774.

Au 18^{ème} siècle, en Angleterre, « *le grand tour* »¹⁰ consistait à envoyer de jeunes fils de nobles à l'étranger durant deux ou trois ans dès la fin des études secondaires, et ceci dans l'unique objectif de faire de l'enfant un homme du monde par le voyage en éveillant en lui la connaissance et l'esprit d'aventure dont il aurait besoin pour sa future carrière diplomatique

2.1.2 1800-1950 : DU TOURISME ELITISTE AU TOURISME DE MASSE

Jusqu'à la Deuxième Guerre mondiale, le tourisme était avant tout un phénomène de minorités qui profitaient de leur temps et de leur argent dans des régions bénéficiant des apports de l'histoire ou du climat comme l'Italie ou la Côte d'azur.

Ce n'est qu'à la fin du 19^{ème} siècle et au début du 20^{ème} siècle, par imitation du modèle aristocratique, que la bourgeoisie accède au tourisme à travers l'alternance tourisme-travail. Le développement de la photographie et la démocratisation du cinéma devaient ensuite permettre de voir l'image à distance. Le voyage de saut dans l'inconnu se transforme en une confirmation plus ou moins exacte de l'image prévue.

La production en masse d'automobiles, puis d'avions, l'accès à l'image pour de larges couches de populations par l'intermédiaire de la télévision d'un côté, l'augmentation et la relative redistribution des revenus associées à des gains de productivité et aux revendications salariales de l'autre côté vont donner naissance au tourisme de masse concentré essentiellement sur le littoral.

⁷ Bensahel L, Donsimoni M (1999), « *Le tourisme facteur de développement local* », Collection Débats. Édition PUG. pp. 3-11

⁸ Cuvelier P. Torres, E, Gardey J(1994), « *Patrimoine modèle du tourisme et de développement local* ». Paris : l'Harmattan, 33p

⁹ Cuvelier P. Torres, E, Gardey J(1994), « *Patrimoine modèle du tourisme et de développement local* ». Paris : l'Harmattan, Ibid.

¹⁰ MESPLIER A (1995), « *Le tourisme dans le monde* », Paris, Bréal, 1995, p. 20

La majorité des touristes ne recherchait que le repos et le soleil, « Bronzer idiot ». Cette forme de tourisme reposait sur le concept de la pensée unique qui débouchera sur ce que l'on appelle le modèle des 4 S (Sand , Sea , Sex , Sun) .

Cependant, depuis quelques années, on assiste à une remise en cause du modèle du développement post-fordiste basé sur les 4S et la naissance d'une nouvelle demande touristique qui fait du tourisme un facilitateur de dialogue entre les cultures¹¹ appelé tourisme durable.

2.1.3 VERS UN TOURISME DURABLE

La notion de tourisme durable est relativement récente et n'est apparue qu'au début des années 1990 dans la foulée du sommet de Rio et de l'Agenda 21, tandis que les préoccupations qu'il intègre sont parfaitement vieilles. L'Organisation mondiale du tourisme donne au tourisme durable la définition suivante :

« Le développement touristique durable satisfait les besoins actuels des touristes et des régions d'accueil tout en protégeant et en améliorant les perspectives pour l'avenir. Il est vu comme menant à la gestion de toutes les ressources de telle sorte que les besoins économiques, sociaux et esthétiques puissent être satisfaits tout en maintenant l'intégrité culturelle, les processus écologiques essentiels, la diversité biologique, et les systèmes vivants. »

En ce sens, le tourisme durable constitue la base de réflexion commune à toutes les formes de tourisme. Il agit à différents niveaux, bien que sa priorité revienne à l'environnement au sens large du terme. D'un point de vue écologique, le tourisme durable met en place des programmes pour protéger et valoriser la nature et la faune, le patrimoine, le paysage et l'histoire. Il tente à exploiter les ressources environnementales de manière rationnelle ce qui permettra par conséquent d'introduire sur un plan économique la notion de la rareté via des stratégies en vue de répartir équitablement la richesse induite par les produits du tourisme.¹²

Il est donc venu corriger certains effets négatifs du développement touristique sur l'environnement (surexploitation des ressources naturelles par exemple) comme sur les modes de vie des populations hôtes.

Ces effets prennent d'autant plus d'ampleur dans les pays pauvres qui n'ont pas toujours les mêmes capacités de réaction et de réorientation face aux investissements touristiques que les pays développés. Sous l'appellation de tourisme durable ont émergé différents concepts intégrant des préoccupations de durabilité économique et sociale, dont celui de « tourisme solidaire ».

2.1.4 LE TOURISME SOLIDAIRE

Le tourisme solidaire est défini par Ritimo¹³, un réseau d'information spécialisé sur la solidarité, en propose la définition suivante :

« Le tourisme solidaire, s'inscrivant à la fois dans une perspective "responsable" et "équitable", mais plus directement associé à des projets de solidarité : soit que le voyageur soutienne des actions de développement, soit qu'une partie du prix du voyage serve au financement d'un projet de réhabilitation ou d'un projet social. »

Le qualificatif « solidaire » indique une référence à l'économie sociale et solidaire. La notion de solidarité implique à la fois un objectif d'utilité collective et un mode de fonctionnement particulier, basé sur le consensus et une prise de décision démocratique. Dans le tourisme, la solidarité exige à la fois l'ouverture d'esprit et la volonté de contribuer au développement des destinations. Si les dons matériels peuvent être un signe de solidarité, celle-ci devra passer ce stade « cosmétique » à une étape plus poussée où les acteurs locaux entretiennent des relations équilibrées avec l'autrui.

Le tourisme solidaire, rappelons-le a émergé au lendemain de la décolonisation , par la volonté de certains voyageurs du nord soucieux de mettre à profit leur pratique de tourisme pour engager de nouvelles relations avec les populations locales décolonisées ou en voie de l'être. Conscient des dégâts causés par le tourisme au sud, ces groupes militants aux idéologies et croyances divers ont organisé des actions de solidarité concrètes dont la finalité est d'amener un touriste-client à une

¹¹Intervention de M. Bouchenaki Mounir, Sous-Directeur général pour la culture au Forum universel des cultures à Barcelone 2004. UNESCO, Paris.

¹² Camille Fontaine, Jean-Paul Labourdette, Dominique Auzias et Alter (2012), « Invitation au voyage », Paris. P 18-20-21

¹³ Réseau d'information et de documentation pour le développement durable et la solidarité internationale

démarche de réflexion-action sur la solidarité. Ainsi, l'action touristique solidaire comprend toujours une action de développement local, les bénéficiaires du tourisme sont renversés en partie aux populations locales¹⁴ lesquelles idéalement gèrent elles-mêmes les projets limitant la multiplication des intermédiaires¹⁵ d'égal à égal entre eux (sud-sud ou nord-sud)¹⁶.

3 LE TOURISME DURABLE AU MAROC

Le Maroc a misé depuis longtemps, contrairement aux pays hostiles à l'accueil des étrangers¹⁷, sur le tourisme comme pourvoyeur de devises. Toutefois, cette vision n'a pas duré si longtemps surtout avec la montée au créneau de nouvelles attentes, la sortie épouvantée du Maroc de son plan d'ajustement structurel, et la relecture de la finalité du secteur touristique considérée traditionnellement comme « industrie rentière » vers une vision viable où les entreprises et le territoire s'interagissent pour garantir une offre touristique durable et responsable. La refondation de ce nouveau rapport permet d'enfanter un accord-cadre signé en janvier 2001 entre gouvernement et les professionnels du secteur qui véhicule une nouvelle manière de gérer le secteur, basée sur la logique du partenariat et contient un nombre de mesures et de propositions à mettre en œuvre dans le but de rendre la destination « Maroc » plus attractive. Cette vision a été complétée par la vision 2020 qui a pour ambition de rendre le Maroc une des 20 plus grandes destinations mondiales et comme une référence du pourtour méditerranéen en matière de développement durable.

3.1 L'ENGAGEMENT TOURISTIQUE RESPONSABLE DU MAROC

Le tourisme alternatif est nouveau au Maroc, sa date de naissance est liée à la création en 2006 de comité marocain de « tourisme responsable » pour donner un souffle qualitatif aux projets touristiques. L'objectif est la préservation de la nature, la culture et les traditions. Son plan d'action s'articule autour 3 points suivants :

- La mise en place de la charte marocaine de tourisme responsable
- L'édition d'un guide de touriste responsable
- La création d'un label du tourisme responsable

Le développement durable va permettre au pays de diversifier son offre touristique et combiner balnéaire, culturel et naturel. En effet, **6 programmes structurants** ont été définis :

1. « **Azur 2020** » : offre balnéaire
2. « **Patrimoine et héritage** » : valoriser l'identité culturelle marocaine et son patrimoine.
3. « **Green-éco-développement durable** » : mettre en avant les ressources naturelles et rurales, dans un esprit de protection.
4. « **Niches à forte valeur ajoutée** » : développer le tourisme d'affaires.
5. « **Animation, sport, loisir** » : à ajouter à l'infrastructure balnéaire.
6. « **Biladi** » : répondre aux besoins des Marocains, en respectant leurs habitudes et leur manière de voyager.

Sans oublier les 2 incontournables en matière de développement durable : le « **Grand Sud Atlantique** » autour de Dakhla et « **l'Atlas et ses Vallées** », autour de Ouarzazate et du haut Atlas. Cette dernière destination s'impose comme la première « écotouristique » axée sur le développement durable dans la Méditerranée.

La vision stratégique 2010 du Maroc pour le développement touristique a pu permettre à notre Royaume de se positionner dans la carte touristique internationale en faisant du tourisme un vrai levier du développement du pays. La vision 2020 est venue consolider ces réalisations et plaçant le concept de la durabilité au cœur de la stratégie touristique. Elle est bâtie sur ces fondements solides, la *Vision 2020* s'appuie sur un Dispositif stratégique d'accompagnement dans son ambition

¹⁴ Ça rejoint la même idée du CnuCED lors de sa définition du tourisme solidaire, il avance : « le territoire définit son offre en partenariat avec les acteurs locaux et utilise les bénéficiaires pour son propre développement » (CnuCED 2004)

¹⁵ Camille Fontaine, Jean-Paul Labourdette, Dominique Auzias et Alter (2012), « Invitation au voyage », op cit P 21-22-23-24

¹⁶ Bernard Schéou (2009) *Du tourisme durable au tourisme équitable : quelle éthique pour le tourisme de demain*, Ed De Boeck, P 171-172

¹⁷ Les autorités chinoises, pourtant à l'origine hostiles à l'accueil des étrangers, considèrent dorénavant que par rapport aux autres secteurs tertiaires, le tourisme nécessite moins d'investissement, pour un résultat économique intéressant, notamment en matière d'emplois, contribuant ainsi à l'amélioration du niveau de vie de la population (Liliane Bensahel, Maryiam Donsimoni, 1999)

d'atteinte un nouveau palier de développement touristique intégrant la durabilité dans tous les maillons de la chaîne de valeur touristique et tout le long du cycle de vie du produit touristique.¹⁸

3.2 LE TOURISME SOLIDAIRE ET LA VALORISATION DES RESSOURCES TERRITORIALES

3.2.1 LES RESSOURCES TERRITORIALES

La notion des ressources territoriales comprend tous les objets matériels et immatériels d'un territoire, ces objets sont valorisés ou valorisables. Les ressources sont de différentes natures : latentes, existantes, données, construites, marchandes, non marchandes, génériques, spécifiques...

Les ressources génériques d'un territoire se définissent par le fait que leur valeur est indépendante de leur participation à un quelconque processus de production (une mer par exemple) contrairement aux ressources spécifiques qui, elles, naissent d'un processus interactif et sont alors engendrées dans leur configuration¹⁹. La principale distinction entre ces ressources que les spécifiques sont étroitement liées à un processus de production (L'activité touristique dans notre cas).

Les ressources spécifiques sont la signature et l'affirmation de la singularité d'un territoire et sont ***l'élément de base pour réussir un développement territorial***²⁰.

3.2.2 LE TOURISME SOLIDAIRE : UN MOYEN POUR VALORISER LES RESSOURCES SPÉCIFIQUES

L'encouragement du tourisme solidaire rentre dans la stratégie d'environ 14% des associations de développement rural au Maroc²¹ environ 60 % de ces associations œuvrent dans la région Souss et Draa et le reste dans la région du moyen atlas. Le tourisme permet la création de postes d'emplois directs et indirects, la génération de revenus au profit des populations pauvres, la diversité des activités économiques rurales qui se basent, essentiellement, sur l'agriculture et la valorisation et la commercialisation des produits du terroir et de l'artisanat locale. Cette région est très connue par l'importance du secteur touristique que les associations de développement rural ont voulu exploiter pour réaliser leur mission de développement territorial.

L'expérience la plus intéressante dans ce domaine et celle de l'association Migration et développement.

3.2.3 ASSOCIATION MIGRATION ET DÉVELOPPEMENT

L'association M&D est créée en 1986 par un groupe de migrants pour participer au développement local des villages nats des émigrés. Ils ont cherché à faire sortir leurs villages nats de l'enclavement et de la pauvreté. Ils n'avaient pas certainement cherché à remplacer l'Etat mais à s'interroger sur leur rôle pour le développement du territoire de leurs ancêtres.

L'hypothèse de base de ces migrants était « **les ressources spécifiques dont est doté le territoire du Taliouine (culture, gastronomie, safran, l'huile d'argan...) pourront être valorisées pour assurer un décollage territorial** ».

Le tourisme s'est profilé comme un atout considérable pour favoriser un développement territorial par la valorisation des ressources : ça permettra d'une part d'assurer des revenus stables pour la population locale et d'autre part, promouvoir la particularité locale par l'allocation des ressources au service du développement.

Pour réussir un développement rural intégré, des actions de soutien aux activités économiques ont été entreprises et un programme de tourisme rural solidaire est mis en place. Il est basé sur l'investissement de migrants dans des auberges rurales construites dans leur village d'origine. En outre, une charte est mise au point afin de préserver villages et villageois.

¹⁸ *Tourisme durable dans la stratégie (14 juillet 2014), [En ligne]. URL : www.tourisme.gov.ma*

¹⁹ *Pecqueur B (2005), « Le développement territorial : une nouvelle approche des processus de développement pour les économies du Sud ». In : Antheaume Benoît (ed.), Giraut F. (ed.) Le territoire est mort : vive les territoires ! : Une refabrication au nom du développement. Paris : IRD, p. 295-316*

²⁰ *Colletis, G., Pecqueur, B. (1993). Intégration des espaces et quasi intégration des firmes : vers de nouvelles logiques productives. Revue de l'économie régionale. N°3 ibid*

²¹ *Charfi abdelrhani, management des associations de développement rural au Maroc, thèse en économie, Soutenue le 29 novembre 2005, faculté des sciences juridiques, économiques et sociales, Université mohamed V Agdal, Rabat, p 241.*

Elle stipule notamment qu'à Taliouine, le tourisme passera par des agences de voyage associatives. Les touristes qui viendront, s'inscriront dans une démarche de tourisme solidaire. Pour visiter les greniers (patrimoine local), il faudra s'acquitter d'un droit de visite pour ne pas mobiliser les femmes qui sinon feraient des démonstrations au détriment de leurs activités. En outre, 6% du bénéfice des voyages serviront à financer des actions de développement. Concrètement, si un touriste paie 250 dirhams, 20 iront à l'association villageoise.

Dans l'ensemble, 21 auberges sont peu à peu créées par des migrants. Un investissement pas toujours rentable mais ceux-ci le font avant tout pour leur village (jusqu'à 1 million de dirhams dépensés pour certains). L'argent prélevé servira à financer des écoles, le foyer féminin, des projets d'irrigation, autant d'actes solidaires qui auront un impact réel sur la population et qui intégreront clairement le tourisme à la démarche de développement en mobilisant tous les acteurs du territoire, public ou privé. En deux ans et demi et d'un point de vue purement économique, plus d'un million deux cent mille dirhams sont ainsi injectés dans les villages²²

A titre illustratif, le coût de séjour de 8 jours d'un touriste s'élève à 436 Euros hors du billet d'avion, 20 % réservé à la réception, l'accueil et l'hébergement dans les villages (88 Euros), 36% réservé au transport local (156 Euros), 18% dédié aux frais administratifs des dossiers (81 Euros) , 15 % aux frais de réception en dehors des villages concernés par le circuit solidaire 6% pour le guide animateur touristique et 5 % pour la participation aux projets de développement au sein de ces villages²³.

4 CONCLUSION

Le tourisme solidaire exerce des effets d'entraînement sur la population locale, il accompagne la mise en place d'autres projets d'activités génératrices de revenus tels que la construction de coopératives de valorisation des produits locaux et artisanaux. Il contribue à la mise en valeur du patrimoine local et à la protection de l'environnement. Il participe à une meilleure répartition des revenus touristiques, particulièrement par la mise en place de chambres d'hôte (notamment chez les femmes isolées). Il contribue directement au développement local et à la réduction de la pauvreté dans les zones rurales enclavées.

L'ambition « solidaire » ne serait probante qu'avec l'implication de tous les acteurs locaux (services déconcentrés et décentralisés, les professionnels du tourisme, l'Etat...) dans le processus de construction touristique. La participation de ces acteurs crée une synergie et favorisera un dynamisme territorialisé. Le travail de l'association « migration et développement » nous a permis de soulever un certain nombre d'enseignements tant au niveau logistique, en absence d'une infrastructure de base, l'expérience ne pourrait jamais aboutir. Ces grands chantiers- l'apanage certainement de l'Etat- peuvent rendre les projets de tourisme solidaire plus rentables et permettent la valorisation rapide des atouts régionaux.

Les associations marocaines œuvrant dans le domaine de tourisme solidaire souffrent d'une dispersion des efforts, il y a une absence d'une structure de coordination. L'utilité d'une telle structure (réseau, union, fédération ...) est vitale pour ce secteur.

La duplication de ce genre d'expérience dans des régions marocaines qui recèlent des ressources spécifiques énormes (le cas d'Essaouira par exemple) permettra via le processus de valorisation de ces ressources d'asseoir un développement territorial.

²² Focus sur migration et développement (14 juillet 2014), [en ligne], URL : www.voyageons-autrement.com

²³ Rapport d'activité de l'association migration et développement (2010) - pp 12-13

REFERENCES

- [1] Bernard Schéou (2009), Du tourisme durable au tourisme équitable : quelle éthique pour le tourisme de demain, Ed De Boeck, P 171-172
- [2] Bensahel L, Donsimoni M (1999), «Le tourisme facteur de développement local», Collection Débats. Édition PUG. P 3-11
- [3] Camille Fontaine, Jean-Paul Labourdette, Dominique Auzias et Alter (2012), « Invitation au voyage », Paris. P 18-20-21
- [4] Charfi abdelrhani, management des associations de développement rural au Maroc, thèse en économie, soutenue le 29 novembre 2005, faculté des sciences juridiques, économiques et sociales, Université Mohamed V Agdal, Rabat, p 241.
- [5] Colletis, G, Pecqueur, B. (1993). « Intégration des espaces et quasi intégration des firmes : vers de nouvelles logiques productives ». Revue de l'économie régionale N°3. PP 490-500
- [6] Cuvelier P. Torres, E, Gardey J (1994), « Patrimoine modèle du tourisme et de développement local ». Paris : l'Harmattan, p 33
- [7] Hazebroucq Jean-Marie (2007) « Destinations innovantes et développement du tourisme. », Marché et organisations (N° 3), p. 117-153
- [8] Landel Pierre-Antoine (2001) « L'exportation du « développement territorial » vers le Maghreb : du transfert à la capitalisation des expériences. », L'Information géographique (Vol. 75), p. 39-57
- [9] Mesplier A (1995), « Le tourisme dans le monde », Paris, Bréal, 1995, p. 20
- [10] Pecqueur B (2005), « Le développement territorial : une nouvelle approche des processus de développement pour les économies du Sud ». In : Antheaume Benoît (ed.), Giraut F. (ed.) Le territoire est mort : vive les territoires ! : Une refabrication au nom du développement. Paris : IRD, p. 295-316
- [11] Observation économique du tourisme mondiale [en ligne], URL : http://www.veilleinfotourisme.fr/observation-economique-du-tourisme-mondial-previsions-poids-et-impacts-151453.kjsp?RH=TOU_INT
- [12] Hadjou Lamara, (2009) « Les deux piliers de la construction territoriale coordination des acteurs et ressources territoriales » Revue : Développement durable et territoires. [en ligne] URL : <https://developpementdurable.revues.org/8208>
- [13] Tourisme durable dans la stratégie, [En ligne]. URL : www.tourisme.gov.ma
- [14] Focus sur migration et développement [en ligne], URL : www.vayageons-autrement.com

Two stochastic models for EURO/MAD exchange rate, measure of their forecast accuracy and producing prediction intervals for futures exchange rate values

Mohammed Bouasabah and Charaf Bensouda

Mathematics Department,
Ibn Tofail University,
Kenitra Morocco

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

ABSTRACT: Exchange rate in Moroccan economy has been considered a critical push-forward force for domestic inflation which leads to the depreciation of currency value. Exchange rate is the price for which the currency of a country can be exchanged for another country's currency in the foreign exchange market. This article seeks to adopt two stochastic models for estimation of exchange rate EURO/MAD. Firstly, it aims at the investigation of stochastic models (two models) to show the variation of exchange rate, and, secondly, try to draw a comparison between these models in terms of error estimation performances and, as a result, to recommend a stochastic model for exchange rate EURO/MAD.

The present paper is **an extension** of our precedent work entitled and referenced: "Elaboration of two stochastic models of EURO/MAD exchange rate and measure of their forecast accuracy," *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 17, no. 3, pp. 1029–1036, August 2016..

In addition to our precedent results (for reasons of clarity we repeat our previous work here), we produced a prediction intervals for each future value of exchange rate EURO/MAD.

In this paper, the geometric Brownian motion (stochastic process without mean reversion propriety) and Vasicek process (stochastic process with mean reversion speed), are used to model the exchange rate EURO / MAD, then they are compared in terms of average estimation error.

In order to calculate models parameters daily close price of the Euro/MAD from 01/12/2008 to 01/03/2016 (2242 values) can be taken from Casablanca stock exchange and ,hence, two stochastic models for exchange rate is to be derived, and compared. According to simulation results, we can finally recommend one of the two models.

KEYWORDS: Exchange rate, Vasicek, Brownian motion, Euromad, Stochastic process.

1 INTRODUCTION

Exchange rates are of great importance for the economy of a country and particularly its foreign trade, in respect of goods or services. The volume of products imported or exported to another country depends on the exchange rate of these countries. This may be an inflation factor in the country whose rate drops, or a factor of commercial, financial and political instability in some cases. For this reason it's necessary to anticipate the future exchange rates. To do mathematical modeling assumes that the exchange rate is a stochastic process (random variable time-dependent). In this work we are interested in the price in which a euro traded against the Moroccan currency MAD. To achieve this, two stochastic models belonging to different families (with and mean reversion property) are used and compared in terms of error estimation: Geometric Brownian motion and the process of Vasicek.

2 THEORETICAL PRINCIPLES OF RESEARCH

2.1 THE GEOMETRIC BROWNIAN MOTION (GBM)

The Geometric Brownian Motion (GBM) is a fundamental example of a stochastic process without mean reversion properties. The GBM is the underlying process from which is derived to form the Black and Scholes formula for pricing European options [1]. Let the exchange rate be assigned as x_t where $\ln(x_t)$ obeys the following defined equation.

$$d\ln(x_t) = \mu dt + \sigma dw_t$$

Here μ and σ are constants and W_t is a standard Brownian motion.

2.2 VASICEK MODEL

The objective behind adopting the Vasicek model in this research is to model the variation of exchange rates as a stochastic process with a mean reversion. Vasicek model was the first to capture the value of mean reversion. In a linear equation, the dynamics of exchange rate is being described by this model, as it can be explicitly solved [2].

$$dx_t = \alpha(\mu - x_t)dt + \sigma dw_t$$

Where α , μ and x_0 constants and dW_t represent an increment to a standard Brownian motion W_t . The exchange rate x_t will fluctuate randomly, but, over the long run, tends to revert to some level μ . The speed of reversion is known as α and the short-term standard deviation is σ where both influence the reversion.

This paper brings into play accurate data from 01/12/2008 to 01/03/2016 (2243 values) taken from DirectFN (provider of financial information) [3], and Maximum likelihood function is used to calculate parameters of both GBM and Vasicek model.

3 METHODOLOGY

3.1 NO MEAN REVERSION – GEOMETRIC BROWNIAN MOTION

Let the continuous-time exchange rate be assigned as x_t where $\ln(x_t)$ obeys the following equation:

$$d\ln(x_t) = \mu dt + \sigma dw_t \quad (1)$$

Here, μ and σ are constants and dw_t is a standard Brownian motion. In ordinary calculating, one can derive that:

$$d\ln(x_t) = \frac{dx_t}{x_t} \quad \text{So} \quad \frac{dx_t}{x_t} = \mu dt + \sigma dw_t$$

If we adopt Ito's Lemma as mentioned in J.C. Hull [1], the equation will be as follows:

$$d\ln(x_t) = \left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)dt + \sigma dw_t \quad \text{with} \quad \gamma = \mu - \frac{1}{2}\sigma^2$$

This means that $\ln(x_t)$ is an Arithmetic Brownian Motion. By integrating equation between u and t , and according to Damiano Brigo et al [4], gives:

$$\ln(x_u) - \ln(x_t) = \left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)(u - t) + \sigma(w_u - w_t) \sim N\left(\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)(u - t); \sigma^2(u - t)\right)$$

By considering $u = T$, $t = 0$ and taking the exponent on equation above leads to:

$$x_T = x_0 \exp\left(\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)T + \sigma w_T\right) \quad (w_0=0)$$

The mean and the variance of x_T according to Damiano Brigo et al (2007) [4] are:

$$E(x_T) = x_0 e^{\mu T} \quad \text{And} \quad \text{Var}(x_T) = e^{2\mu T} x_0^2 (e^{\sigma^2 T} - 1)$$

Therefore, the version of a simulation equation for the GBM, using the fact that is $dW = Z\sqrt{\Delta t}$ [1]:

$$\gamma = \mu - \frac{1}{2}\sigma^2$$

$$\ln(x_{t_{i+1}}) - \ln(x_{t_i}) = \gamma\Delta t + \sigma Z_i \sqrt{\Delta t} \quad Z_i \sim N(0,1)$$

By taking the exponent of both sides, it results:

$$x_{t_{i+1}} = x_{t_i} \exp(\gamma\Delta t + \sigma Z_i \sqrt{\Delta t}) \quad Z_i \sim N(0,1)$$

3.1.1 MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION (MLE) – GEOMETRIC BROWNIAN MOTION

According to Damiano Brigo et al (2007) [4], the parameters that must be optimized are $\theta(\mu, \sigma)$ for the GBM. Let the logarithmic return be given as:

$$y_{t_i} = \ln(x_{t_i}) - \ln(x_{t_{i-1}})$$

Which is normally distributed for all $y_{t_1}, y_{t_2} \dots \dots y_{t_n}$. And these later values assumed independent. The likelihood function will be denoted as:

$$L(\theta) = f_{\theta}(y_{t_1}, y_{t_2} \dots \dots y_{t_n}) = \prod_{i=1}^n f_{\theta}(y_{t_i}) = \prod_{i=1}^n f(y_{t_i} | \theta)$$

Here, f_{θ} is the probability density function. Let $\theta = (\mu, \sigma)$, then the probability density function f_{θ} is:

$$f_{\theta}(y_{t_i}) = \frac{1}{x_{t_i} \sigma \sqrt{2\pi t}} \exp \left[-\frac{\left(\frac{y_{t_i}}{x_{t_0}} - (\mu - \frac{1}{2}\sigma^2)t \right)^2}{2\sigma^2 t} \right]$$

The likelihood function needs to be maximized to obtain the optimal estimators $\hat{\theta}(\hat{\mu}, \hat{\sigma})$.

First, we have to determine \hat{w} and $\hat{\gamma}$:

$$\hat{w} = \left(\hat{\mu} - \frac{1}{2} \hat{\sigma}^2 \right) \Delta t \quad \text{with} \quad \hat{w} = \sum_{i=1}^n \frac{y_{t_i}}{n} = \frac{\ln(x_{t_n}) - \ln(x_{t_0})}{n}$$

$$\hat{\gamma} = \hat{\sigma}^2 \Delta t \quad \text{with} \quad \hat{\gamma} = \sum_{i=1}^n \frac{(y_{t_i} - \hat{w})^2}{n}$$

Then the MLE's parameters are:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\hat{\gamma}}{\Delta t} \quad \text{And} \quad \hat{\mu} = \frac{1}{2} \hat{\sigma}^2 + \frac{\hat{w}}{\Delta t}$$

3.1.2 EURO/MAD EXCHANGE RATE: GEOMETRIC BROWNIAN MOTION

In order to calculate $\hat{\mu}$ and $\hat{\sigma}$ daily close price of the Euro/MAD from 01/06/2006 to 01/03/2016 can be taken directly from DirectFN [3] for Casablanca Stock Exchange. And considering $\Delta t = \frac{1}{365}$ (daily data)

3.1.2.1 SIMULATION RESULTS

Using the daily close price of the Euro/MAD from 01/06/2006 to 01/03/2016 and Microsoft Excel's solver, we obtain:

$$\hat{\mu} = 0,0009594 \quad \text{and} \quad \hat{\sigma} = 0,01069047$$

The simulation equation for Euro with Moroccan currency according to GBM is:

$$x_{t_{i+1}} = x_{t_i} e^{(-0,00438583.\Delta t + 0,1033947295.Z_i.\sqrt{\Delta t})} \quad Z_i \sim N(0,1) \quad \text{And} \quad \Delta t = \frac{1}{365}$$

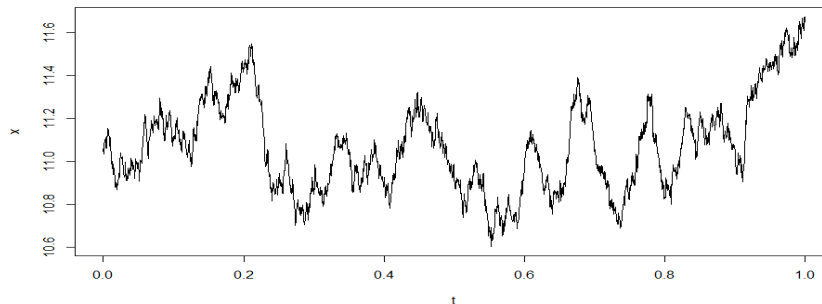


Fig. 1. Exchange rate EURO/MAD simulation using R: GBM model

3.1.2.2 GBM MODEL, ERROR PERFORMANCES

Let \hat{x}_{t_i} be the estimated value of exchange rate euro-mad at time t_i :

The sum of squared errors (SSE).

$$SSE = \sum_{i=1}^{2243} (x_{t_i} - \hat{x}_{t_i})^2 = 16,8722$$

The mean absolute percentage error (MAPE).

$$MAPE = \frac{1}{2243} \sum_{i=1}^{2243} \frac{|x_{t_i} - \hat{x}_{t_i}|}{x_{t_i}} * 100 = 0,5548 \%$$

3.2 MEAN REVERSION – THE VASICEK MODEL

The Vasicek model, owing its name to Vasicek (1977), is one of the earliest stochastic models of the short-term interest rate, which is a suitable model to apply the maximum likelihood estimation (MLE) [5].

$$dx_t = \alpha(\mu - x_t)dt + \sigma dw_t \quad (1)$$

Solving the Ornstein-Uhlenbeck Stochastic Differential Equation includes taking the derivative of $e^{\alpha t}x_t$ and rearranging the order gives:

$$e^{\alpha t}dx_t = d(e^{\alpha t}x_t) - x_t\alpha e^{\alpha t}dt \quad (2)$$

And multiplying (1) by $e^{\alpha t}$

$$e^{\alpha t}dx_t = e^{\alpha t}\alpha(\mu - x_t)dt - e^{\alpha t}\sigma dw_t \quad (3)$$

By using equations (2) and (3).

$$d(e^{\alpha t}x_t) = \alpha e^{\alpha t}\mu dt + e^{\alpha t}\sigma dw_t$$

If an integral is taken from time 0 to t gives:

$$e^{\alpha t}x_t = x_0 + \int_0^t \alpha e^{\alpha s}\mu ds + \int_0^t e^{\alpha s}\sigma dw_s$$

And this implies

$$x_t = x_0e^{-\alpha t} + \int_0^t \alpha e^{-\alpha t}e^{\alpha s}\mu ds + \int_0^t e^{\alpha s}e^{-\alpha t}\sigma dw_s = x_0e^{-\alpha t} + \int_0^t \alpha e^{-\alpha(t-s)}\mu ds + \int_0^t e^{-\alpha(t-s)}\sigma dw_s$$

$$= x_0 e^{-\alpha t} + \mu(1 - e^{-\alpha t}) + \int_0^t e^{-\alpha(t-s)} \sigma dw_s$$

The solution of the stochastic differential equation between s and t , if $0 < s < t$:

$$x_t = x_s e^{-\alpha(t-s)} + \mu(1 - e^{-\alpha(t-s)}) + \sigma e^{-\alpha t} \int_s^t e^{-\alpha u} dw_u \quad (4)$$

$\int_0^t e^{-\alpha(t-s)} \sigma dw_s$ follows a normal distribution with a mean of zero and a variance such that:

$$E \left[\left(\int_0^t e^{-\alpha(t-s)} \sigma dw_s \right)^2 \right] = \int_0^t (e^{-\alpha(t-s)} \sigma)^2 ds = \frac{\sigma^2}{2\alpha} (1 - e^{-2\alpha t}). \quad (\text{Ito isometric property})$$

The conditional mean and variance of x_t given x_0 is:

$$E_0[x_t] = \mu + (x_0 - \mu) e^{-\alpha t}$$

$$Var_0[x_t] = \frac{\sigma^2}{2\alpha} (1 - e^{-2\alpha t}) \quad \alpha > 0$$

The conditional mean and variance of x_t given x_s are:

$$E_s[x_t] = \mu + (x_s - \mu) e^{-\alpha(t-s)}$$

$$Var_s[x_t] = \frac{\sigma^2}{2\alpha} (1 - e^{-2\alpha(t-s)}) \quad \alpha > 0$$

Calculations for the maximum likelihood estimates are made according to M.A. van den Berg (2007) "Calibrating the Ornstein-Uhlenbeck model" [6]. As follows, the conditional density functions for x_{t_i} given $x_{t_{i-1}}$ is:

$$f(x_{t_i} | x_{t_{i-1}}; \mu, \alpha, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left[\frac{-(x_{t_i} - x_{t_{i-1}} e^{-\alpha\Delta t} - \mu(1 - e^{-\alpha\Delta t}))^2}{2\sigma^2} \right]$$

where

$$\sigma^2 = \hat{\sigma}^2 \frac{(1 - e^{-2\alpha\Delta t})}{2\alpha} \quad (*)$$

The log-likelihood function is given by:

$$\ln L(\mu, \alpha, \sigma) = \sum_{i=1}^n \ln f(x_{t_i} | x_{t_{i-1}}; \mu, \alpha, \sigma) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi) - n \ln(\sigma) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n \left((x_{t_i} - x_{t_{i-1}} e^{-\alpha\Delta t} - \mu(1 - e^{-\alpha\Delta t}))^2 \right)$$

The log-likelihood function have to be maximized by taking partial derivatives of equation with respect to μ , α and σ and which yield three equations all equal to zero:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \ln L(\mu, \alpha, \sigma)}{\partial \mu} \Big|_{\hat{\mu}} = 0 \\ \frac{\partial \ln L(\mu, \alpha, \sigma)}{\partial \alpha} \Big|_{\hat{\alpha}} = 0 \\ \frac{\partial \ln L(\mu, \alpha, \sigma)}{\partial \sigma} \Big|_{\hat{\sigma}} = 0 \end{array} \right.$$

Then, the estimators will be:

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{t_i} - x_{t_{i-1}} e^{-\hat{\alpha}\Delta t})}{n(1 - e^{-\hat{\alpha}\Delta t})} \quad \hat{\alpha} = -\frac{1}{\Delta t} \ln \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_{t_i} - \hat{\mu})(x_{t_{i-1}} - \hat{\mu})}{\sum_{i=1}^n (x_{t_{i-1}} - \hat{\mu})^2} \right] \quad \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(x_{t_i} - \hat{\mu} - e^{-\hat{\alpha}\Delta t} (x_{t_{i-1}} - \hat{\mu}) \right)^2$$

The following formulas are used to simplify further calculations:

$$S_x = \sum_{i=1}^n x_{t_{i-1}} \quad S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_{t_{i-1}}^2 \quad S_{yy} = \sum_{i=1}^n x_{t_i}^2 \quad S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_{t_{i-1}} x_{t_i} \quad S_y = \sum_{i=1}^n x_{t_i}$$

By using equations above, the MLE's parameters are:

$$\hat{\mu} = \frac{S_y - e^{-\hat{\alpha}\Delta t} S_x}{n(1 - e^{-\hat{\alpha}\Delta t})} \quad (a) \quad \hat{\alpha} = -\frac{1}{\Delta t} \ln \left[\frac{S_{xy} - \hat{\mu} S_x - \hat{\mu} S_y + n\hat{\mu}^2}{S_{xx} - 2\hat{\mu} S_x + n\hat{\mu}^2} \right] \quad (b)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} [S_{yy} - 2e^{-\hat{\alpha}\Delta t} S_{xy} + e^{-2\hat{\alpha}\Delta t} S_{xx} - 2\hat{\mu}(1 - e^{-\hat{\alpha}\Delta t})(S_y - e^{-\hat{\alpha}\Delta t} S_x) + n\hat{\mu}^2(1 - e^{-\hat{\alpha}\Delta t})^2] \quad (c)$$

If the equation (b) is substituted into (a), it yields:

$$\hat{\mu} = \frac{S_y S_{xx} - S_x S_{xy}}{n(S_{xx} - S_{xy}) - (S_x^2 - S_x S_y)} \quad (d)$$

$$\hat{\alpha} = -\frac{1}{\Delta t} \ln \left[\frac{S_{xy} - \hat{\mu}(S_x + S_y) + n\hat{\mu}^2}{S_{xx} - 2\hat{\mu}S_x + n\hat{\mu}^2} \right] \quad (e)$$

And using (*), the third estimate parameter $\hat{\sigma}^2$ is:

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{2\hat{\alpha}}{n(1 - e^{-2\hat{\alpha}\Delta t})} [S_{yy} - 2e^{-\hat{\alpha}\Delta t} S_{xy} + e^{-2\hat{\alpha}\Delta t} S_{xx} - 2\hat{\mu}(1 - e^{-\hat{\alpha}\Delta t})(S_y - e^{-\hat{\alpha}\Delta t} S_x) + n\hat{\mu}^2(1 - e^{-\hat{\alpha}\Delta t})^2]$$

3.2.1 VASICEK SIMULATION EQUATION

According to M.A. van den Berg [6], the linear relationship between two consecutive observations $x_{t_{i+1}}$ and x_{t_i} is derived from (4) and is given as:

$$x_{t_{i+1}} = x_{t_i} e^{-\hat{\alpha}\Delta t} + \hat{\mu}(1 - e^{-\hat{\alpha}\Delta t}) + \hat{\sigma} \sqrt{\frac{1 - e^{-2\hat{\alpha}\Delta t}}{2\hat{\alpha}}} Z_i \quad Z_i \sim N(0,1)$$

Note: Z_i are the same random values used for GBM simulated equation.

To calculate $\hat{\mu}$, $\hat{\alpha}$ and $\hat{\sigma}$ the same daily close price in Moroccan dirham of Euro from 12/01/2008 to 03/01/2016 are used with Microsoft Excel's solver, and hence stochastic model for exchange rate is to be derived.

3.2.2 SIMULATION RESULTS AND DISCUSSION

MLE values of the data set can be computed using Microsoft Excel's solver as:

$$\hat{\alpha} = 26,8928501 \quad \hat{\mu} = 11,1157017 \quad \hat{\sigma} = 1,172973$$

$$dx_t = 26,8928501(11,1157017 - x_t)dt + 1,172973dw$$

Consequently, due to this stochastic model, the exchange rate is fluctuating around the value 11,1157. With a mean reversion speed equals to 26,8928501 and an intensity of stochastic part is 1,17297. Moreover, this model can be used to forecast the exchange rate in Morocco. Variation of simulated exchange rate (with R) is shown in this Figure. With $x_0=11,056$ [at 01/12/2008]

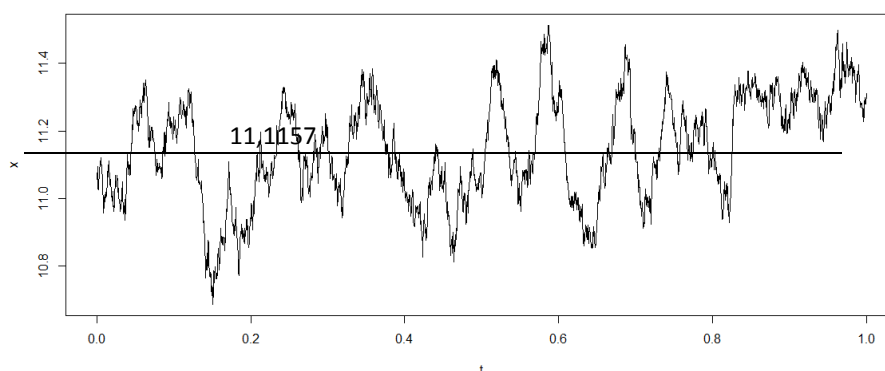


Fig. 2. Exchange rate EURO/MAD simulation using R

Deterministic part of the final stochastic differential equation is going to be:

$$dx_t = 26,8928501(11,1157017 - x_t)dt$$

And hence deterministic process is going to be (with $x_0=11,056$ [at 01/12/2008])

$$x_t(t) = -0,0597 e^{-26,8928501.t} + 11,1157017$$

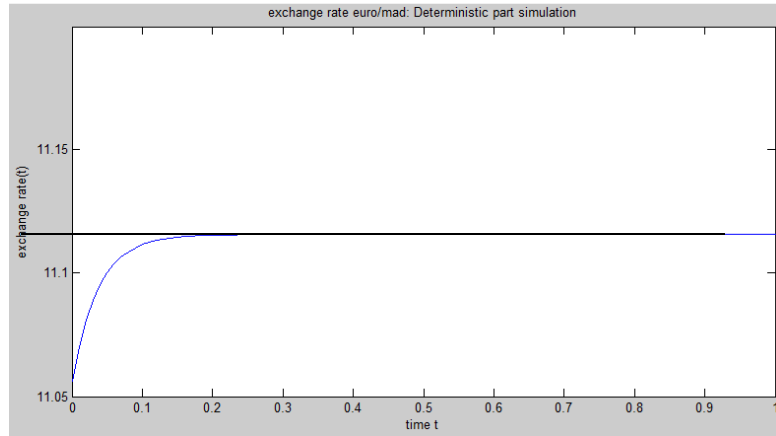


Fig. 3. Exchange rate EuroMad: deterministic part simulation

Therefore, it can be strongly concluded that exchange rate attains to the value 11,1157 for long time periods.

Finally, the simulated equation is:

$$x_{t_{i+1}} = x_{t_i}e^{-\hat{\alpha}\Delta t} + \mu(1 - e^{-\hat{\alpha}\Delta t}) + \hat{\sigma}\sqrt{\frac{1-e^{-2\hat{\alpha}\Delta t}}{2\hat{\alpha}}}Z_i \quad Z_i \sim N(0,1)$$

$$x_{t_{i+1}} = 0,9289698 * x_{t_i} + 0,78954996 + 0,05920237 * Z_i$$

3.2.3 VASICEK MODEL, ERROR PERFORMANCES.

Let \hat{x}_{t_i} be the estimated value of exchange rate euro-mad at time t_i :

The sum of squared errors (SSE).

$$SSE = \sum_{i=1}^{2243} (x_{t_i} - \hat{x}_{t_i})^2 = 16,044$$

The mean absolute percentage error (MAPE).

$$MAPE = \frac{1}{2243} \sum_{i=1}^{2243} \frac{|x_{t_i} - \hat{x}_{t_i}|}{x_{t_i}} * 100 = 0,5458 \%$$

4 COMPARISON AND DISCUSSION

4.1 COMPARISON

EURO/MAD Exchange rate : GBM Model	EURO/MAD Exchange rate : Vasicek Model
<p>Simulated equation:</p> $x_{t_{i+1}} = x_{t_i} e^{(0,000029288959 \Delta t + 0,1033947295 Z_i \sqrt{\Delta t})}$ $Z_i \sim N(0,1) \text{ And } \Delta t = \frac{1}{365}$ <p>The sum of squared errors (SSE).</p> $SSE = \sum_{i=1}^{2243} (x_{t_i} - \hat{x}_{t_i})^2 = 16,8722$ <p>The mean absolute percentage error (MAPE).</p> $MAPE = \frac{1}{2243} \sum_{i=1}^{2243} \frac{ x_{t_i} - \hat{x}_{t_i} }{x_{t_i}} * 100 = 0,5548\%$	<p>Simulated equation:</p> $x_{t_{i+1}} = 0,9289698 * x_{t_i} + 0,78954996 + 0,05920237 * Z_i$ $Z_i \sim N(0,1)$ <p>The sum of squared errors (SSE).</p> $SSE = \sum_{i=1}^{2243} (x_{t_i} - \hat{x}_{t_i})^2 = 16,044$ <p>The mean absolute percentage error (MAPE).</p> $MAPE = \frac{1}{2243} \sum_{i=1}^{2243} \frac{ x_{t_i} - \hat{x}_{t_i} }{x_{t_i}} * 100 = 0,5458\%$

4.2 DISCUSSION AND RECOMMENDATION

To measure forecast accuracy, we use here two selection criteria: The sum of squared errors (SSE), which is the sum of the squares deviations of predicted from empirical values of data, it is a measure of the discrepancy between the data and an estimation model. A small SSE indicates a tight fit of the model to the data it is used as an optimality criterion in model selection, and the mean absolute percentage error (MAPE) which is a relative measure which expresses errors as a percentage of the actual data, this is its biggest advantage as it provides an easy and intuitive way of judging the extent, or importance of errors [7].

In this study it seems that for both criteria SSE and MAPE, Vasicek model gives the better measure of forecast accuracy compared to GBM model (16,044<16,8722 and 0,5458%<0,5548%), and as a conclusion, we recommend this later for exchange rate EURO/MAD, as follow:

$$dx_t = 26,8928501(11,1157017 - x_t)dt + 1,172973dw \quad dw \text{ is a standard Brownian motion}$$

$$x_{t_{i+1}} = 0,9289698 * x_{t_i} + 0,78954996 + 0,05920237 * Z_i \quad Z_i \sim N(0,1)$$

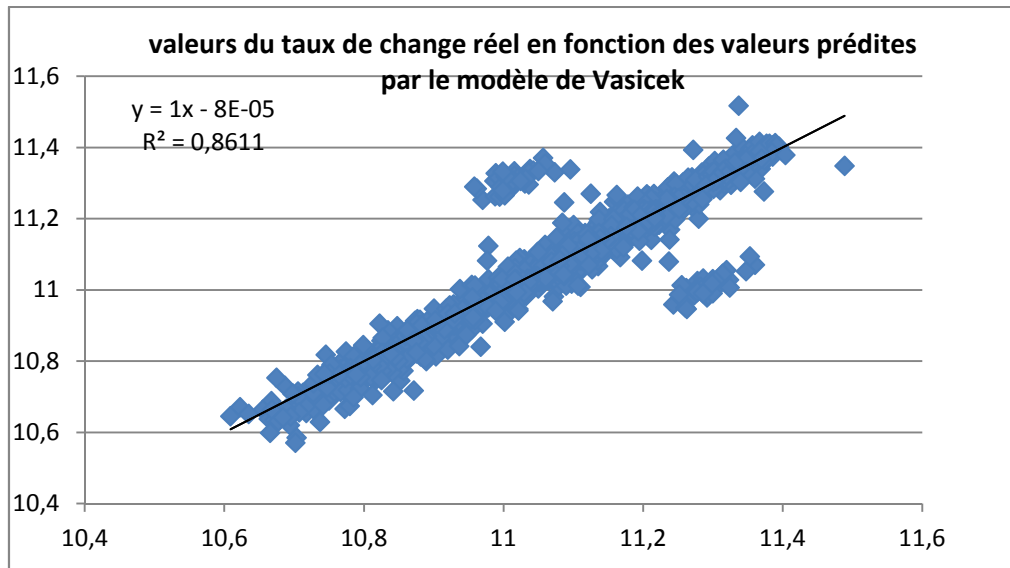
5 PREDICTION INTERVAL OF EXCHANGE RATE VALUES

First we look at the link between the values predicted by our model (Vasicek Model) and the real values of the exchange rate.

We note $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ where y_i for $i \in \{1, \dots, n\}$ (with $n = 2243$) the real values of the exchange rate, and $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ where x_i for $i \in \{1, \dots, n\}$ the predicted values by Vasicek model.

To do this, we plot the point cloud and calculate the determination coefficient R^2 .

The figure below shows a strong linear relationship between Y and X.



According to the figure above, the cloud of point form a straight line, for which we can derive the following equation:

$$y = x_i - 8.10^{-5} (*)$$

The relationship between the two variables is positive. An increase in the value of x is likely to be related to an increase in the value of y which is confirmed by the determination coefficient very close to 1 ($R^2 = 0.861$).

After having shown that there is a strong linear relationship between X and Y , we will use this result to calculate exchange rate values (using linear regression equation) and consequently the prediction intervals of the real values of the exchange rate EURO/MAD.

We note \hat{y}_i for $i \in \{1, \dots, n\}$ the values given by equation (*), so we have:

$$\hat{y}_i = x_i - 8.10^{-5}$$

Using this relationship we can calculate all the values \hat{y}_i corresponding to x_i , for $i \in \{1, \dots, n\}$

To find a prediction interval for a future value y_{n+1} of the exchange rate we use the following result [8]:

$$y_{n+1} \in \left[\hat{y}_{n+1} \pm t_{n-2, 1-\alpha/2} s \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_{n+1} - \bar{x}_n)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2}} \right]$$

With:

- \hat{y}_{n+1} : Value given by least square equation.
- $t_{n-2, 1-\alpha/2}$: is the $(1 - \frac{\alpha}{2})$ - quantile of the student with $n-2$ degree of freedom.
- $s = \sqrt{\frac{SSR}{n-2}}$: is the root of the sums of squared residuals (SSR) divided by $n - 2$.
- $n = 2379$.

To deliver results, Microsoft Excel Solver is used as follows:

- To calculate the \hat{y}_i we call function: TREND().
- The Excel function LINEST() provide regression parameters.
- The function T.INV.2T () provide quintiles of Student.
- The function DEVSQ() calculate the sums of squared residuals.

6 RESULTS

The Excel function LINEST() provide the flowing regression parameters.

Slope (a)	1,00000636	interc (b)	-8,0179E-05
standard error of the slope	0,00848439	standard error of b	0,09433286
R ²	0,86109205	Standard deviation of residuals values	0,05923388
F (Fisher)	13891,9859	degree of freedom	2241
unexplained variation	48,7421576	explained variation	7,86289131

So we can now calculate prediction interval parameters:

- $n=2243$
- $\bar{x}_n : 11,1174254$
- $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2$: Somme des carrées des écarts = 48,7415376
- $t_{0,95} = 1,96102307$
- $S = 0,05923388$

A future value y_{n+1} of EURO/MAD exchange rate corresponding to x_{n+1} have 95% of the chance to be in the following prediction interval:

$$y_{n+1} \in \left[\hat{y}_{n+1} \pm 1,96102307 * 0,05923388 \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{2243} + \frac{(x_{n+1} - 11,1174254)^2}{48,7415376}} \right]$$

i.e

$$\begin{aligned} \hat{y}_{n+1} - 0,11615901 \cdot \sqrt{1,0004458 + \frac{(x_{n+1} - 11,1174254)^2}{48,7415376}} &\leq y_{n+1} \\ &\leq \hat{y}_{n+1} + 0,11615901 \cdot \sqrt{1,0004458 + \frac{(x_{n+1} - 11,1174254)^2}{48,7415376}} \end{aligned}$$

Note:

The value x_{n+1} is predicted by the model of Vasicek and the corresponding image \hat{y}_{n+1} is derived by the linear regression relationship.

7 CONCLUSION

This work has focused on two stochastic models. The first is a model without a mean reversion property (GBM model), and the second is a model based on the Vasicek process with speed of mean reversion, these theoretical models are used and calibrated with daily close prices for exchange rate EURO / MAD, and as a result elaborating the two models for EURO/MAD exchange rate forecast.

Equally important, the work introduces a comparison in terms of estimation error (deviations of predicted from empirical values of data) to choose one of these two models, it turned out that Vasicek model notably shows the lowest square sum of errors (SSE) and also the smallest mean absolute average percentage error (MAPE).

As a consequence, and according to our measure of forecast accuracy, we can recommend the Vasicek model compared to GBM model for modeling exchange rate EURO/MAD.

Finally, thanks to the important relationship between the predicted and real values of exchange rate, we have achieved prediction intervals of 95% for future values of the EURO/MAD exchange rate.

REFERENCES

- [1] JC Hull Options Futures & Other Derivatives 8th ed available: <http://polymer.bu.edu/hes/rp-hull12.pdf>
- [2] Rogemar, S.M. (2004). Three ways to solve for bond prices in the Vasicek model. Journal of applied mathematics and decision sciences, 1-4. Retrieved from <http://www.emis.de/journals/HOA/JAMDS/8/11.pdf>
- [3] DirectFN™ , www.directfn.com
- [4] D Brigo et al "A Stochastic Processes Toolkit for Risk Management" (2007) available <http://ssm.com/abstract=1109160> (Accessed 9 September 2009) or <http://arxiv.org/pdf/0812.4210.pdf>.
- [5] JCG Franco "Maximum Likelihood Estimation of Mean Reverting Processes" (2008) available: http://www.investmentscience.com/Content/howtoArticles/MLE_for_OR_mean_reverting.pdf (Accessed 09 September 2009).
- [6] MA van den Berg "Calibrating the Ornstein-Uhlenbeck model" (2009)
Available: http://www.sitmo.com/doc/Calibrating_the_Ornstein-Uhlenbeck_model (Accessed 02 June 2009).
- [7] S. MAKRIDAKIS, M. Hibon "evaluating accuracy (or error) measures
Available: <http://sites.insead.edu/facultyresearch/research/doc.cfm?did=46875>
- [8] "Introduction to Linear Regression Analysis" Par Douglas C. Montgomery, Elizabeth A. Peck, G. Geoffrey Vining.

Evolution des Conceptions des étudiants en cycle Licence: Cas de la Liaison chimique

A. BOUAYAD, F. KADDARI, and A. ELACHQAR

Laboratoire de Didactique, d'Innovation Pédagogique et Curriculaire,
Faculté des Sciences Dhar El Mahraz,
Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fès, Maroc

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

ABSTRACT: Education sciences research Works are unanimous on the fundamental role of conceptions to organize and facilitate a learning situation of a scientific concept. The objective of this work is to detect the conceptual universe of students, at the end of license cycle, relatively to chemical bond concept and its associated concepts like valence and octet rule and to compare the students' responses at the beginning and end of this cycle. The purpose is to see, after intense courses on those concepts, what are the definitions and models appropriated by students and how they design it. To do this, we asked 50 students, subjects of our study, to express their definitions of the chemical bond, valence and octet rule. The data analysis has shown that there is still confusion and amalgams about this concept and its associated concepts.

KEYWORDS: education sciences, chemical bonding, valence, octet rule, design.

RESUME: Les travaux de recherches en didactique des sciences sont unanimes sur le rôle fondamental des conceptions pour organiser et animer une situation d'apprentissage d'un concept scientifique. L'objectif de ce travail est de détecter l'univers conceptuel des étudiants en fin du cycle de la licence relativement au concept de la liaison chimique et des concepts qui lui sont associés (valence et règle de l'octet) et de comparer les réponses des étudiants au début et en fin du cycle licence (S6). La finalité est de voir, après un enseignement sur les fondements de la liaison chimique, quels sont les définitions et les modèles retenus et comment les étudiants les conçoivent ils ? Pour cela, nous avons demandé à un échantillon de 50 étudiants en fin du cursus universitaire S6 de la filière Sciences de la Matière Chimie (SMC) (troisième année universitaire) d'exprimer leurs définitions du concept liaison chimique, valence et règle de l'octet et ceci deux mois après un enseignement sur ces notions. L'analyse des données obtenues a permis de constater qu'il y a toujours des confusions et amalgames à propos de ce concept et des concepts qui lui sont associés.

MOTS-CLEFS: didactique de la chimie, liaison chimique, valence, règle de l'octet, conception.

1 INTRODUCTION

La liaison chimique, concept fondamental situé au cœur de l'interface structurale de base de la chimie, permet la compréhension des mécanismes assurant la cohésion de la matière et donc sa description à l'échelle microscopique. Il s'agit d'un concept socle des sciences de la matière [1].

L'importance du concept de la liaison chimique se traduit également par l'intérêt que lui manifeste la recherche en didactique des sciences. En effet, de nombreux travaux ont montré que ce concept est perçu comme difficile à enseigner et encore plus difficile à s'approprier car sa compréhension effective peut être entravée par de multiples difficultés [2] ; [3] ; [4] ; [5] ; [6].

Notre recherche sur les conceptions des étudiants au début du cycle licence à propos du concept liaison chimique et ses concepts associe montre la présence de plusieurs conceptions alternatives et des confusions conceptuelles obstacles et sources de difficultés d'apprentissage [7] ; [8]. Ainsi, par exemple les étudiants :

- Ont fait une confusion entre atome et molécule.
- Ont adopté le modèle de la liaison covalente et ionique,
- Ont fait une confusion entre type et nature de la liaison,
- Ont réduit la définition du concept de la liaison chimique à la liaison covalente,
- Ont fait une confusion entre valence et couche de valence,
- Ont donné plusieurs définitions du concept valence,
- Ont fait une confusion entre orbital atomique et orbital moléculaire.

Dans le présent travail, nous avons essayé de voir comment les étudiants en fin du cursus universitaire S6 se représentent le concept de la liaison chimique après un enseignement assez intense et de faire la comparaison entre les réponses des étudiants au début [7] et en fin du cycle licence (S6). Pour cette raison, nous allons mettre en évidence les modèles que les étudiants universitaires en fin du cycle de la licence associent à ce concept.

2 METHODOLOGIE ET METHODE

Afin d'approcher l'univers conceptuel des étudiants en fin du cursus universitaire S6 (troisième année universitaire) relatif aux concepts sujet de l'étude, nous avons eu recours à une démarche qui consiste en "l'étude de la définition" [9].

Pour cela, nous avons demandé aux étudiants sujets de l'enquête d'exprimer leurs définitions du concept de la liaison chimique et des concepts qui lui sont associés tels que la valence et la règle de l'octet. L'analyse des données recueillies s'est effectuée comme suit : nous avons repéré les sous-définitions (formulation ayant un sens propre) dans chaque proposition (définition globale d'un étudiant) et nous avons fait ressortir le mot clé correspondant. Après le calcul des pourcentages des mots clés relatif à chaque formulation distincte, nous avons procédé à une catégorisation de l'ensemble des formulations et nous avons rapporté chaque catégorie au mot clé correspondant dans un tableau.

3 RESULTATS

3.1 ETUDE DE LA DEFINITION DE LA LIAISON CHIMIQUE

Le corpus des données recueillies se compose de 47 copies pour 50 étudiants, 3 étudiants n'ont donné aucune définition (non-réponse) soit 6%. Les formulations des 47 étudiants ayant répondu ont été divisées en sous définitions, nous aboutissons ainsi à 81 sous définitions. Les propositions sont regroupées sous forme de catégories caractérisées par un mot clé. Les résultats sont présentés dans le Tableau 1 :

Tableau 1 : Sous définition du concept "liaison chimique"

Catégorie	Idée ou Mot clé	Exemple de formulations	Pourcentage % des sous définitions	Pourcentage % des répondants
I	Liaison, relation	• La liaison chimique est une (relation) entre deux ou plusieurs atomes (a).	40,5	70,2
		• C'est une liaison (relation) entre deux ou plusieurs molécules (b).	4,9	8,5 (2,1 ont indiqué les deux termes)
		• C'est une liaison entre deux entités chimiques (c).	2,4	4,2
II	Type de liaison	• Il y a deux types de liaisons σ et Π (a).	11,5	19,2
		• La liaison peut être une liaison ionique, covalente (b).	14,8	27,7
III	Electrons	• liaison formée par les électrons de valence.	9,9	17
IV	Orbitales	• La liaison chimique s'établie par un recouvrement de deux orbitales atomiques.	2,4	4,2
V		Divers	4,92	8,51

En suivant les mêmes démarches pour l'analyse du questionnaire des étudiants de S2 [7], nous avons rassemblé, dans la première catégorie, toutes les formulations incluant le terme "liaison" ou le terme "relation" entre deux entités. Ces formulations citées par plus de 82,9% de la population interrogée présentent environ 47,8% de la totalité des sous-définitions proposées, elles expriment l'idée d'une association entre deux atomes (sous-définition a), deux molécules (sous-

définition b) ou deux entités (sous-définition c). Comme prévue le pourcentage relatif à la sous définition (a) (association d'atome) est élevé (70,2%) mais reste en dessous des espérances. En fait, en fin du cycle licence chimie, la liaison chimique en tant qu'association d'atome doit être un acquis principal pour tous les étudiants.

Il est à noter également qu'un pourcentage considérable des répondants ont utilisé le terme relation pour désigner la liaison (sous-définitions a et b) et le terme entité au lieu de l'atome ou la molécule (sous-définition c). Ce pourcentage indique qu'il y a toujours un problème de la langue chez les étudiants universitaires marocains. Par ailleurs, 8,5% de ces étudiants ont évoqué la liaison entre deux molécules, cette formulation met en évidence une persistance de la confusion entre atome et molécule déjà mentionnée chez les étudiants de S2. 2,1% de ces étudiants ont indiqué les deux termes atome et molécule, peut être il s'agit de la liaison hydrogène.

Dans la catégorie II, les étudiants interrogés ont essayé de donner plus de précisions sur la notion en explicitant les différents types de la liaison chimique. Ainsi 19,2% des étudiants interrogés (11,5% de la totalité des formulations proposées) affirment qu'il y a deux types de liaison chimique (σ et π) (sous-définition a). Par contre, 27,7% des étudiants (14,8% des formulations) déclinent que les types de la liaison chimique sont au nombre de deux : la liaison covalente et ionique (sous-définition b). Cela montre que la différence entre type et nature de la liaison n'est pas aussi claire. Il faut noter par ailleurs, l'absence des notions de la liaison inter- moléculaire et de la liaison métallique (malgré que les étudiants de S6 aient étudié le concept de la liaison intermoléculaire).

La troisième catégorie se caractérise par le mot clé "électrons", la liaison chimique est définie comme étant la mise en commun de deux électrons (17% des répondants et 9,9% des formulations). Ces étudiants réduisent le concept de la liaison chimique à la liaison covalente. Ceci confirme notre constatation pour les étudiants de S2 à savoir qu'il y a une persistance des modèles pré-acquis. Ce qui peut constituer un obstacle à l'apprentissage.

Dans la catégorie IV, Il y a seulement deux étudiants parmi 47 qui ont évoqué la notion de recouvrement des orbitales atomiques pour définir le concept de la liaison chimique (environ 4,2% des répondants). Ce qui met bien en évidence l'absence du modèle quantique de la liaison dans l'univers conceptuel de la population sujet de l'enquête.

Dans la catégorie V, nous avons répertorié les formulations qui nous ont semblé différentes des autres formulations. Ces dernières sont diversifiées et varient de la description qualitative (la liaison s'établit grâce à l'existence des couches de valences insaturée) aux métaphores (la liaison chimique est un tiré qui relie les électrons de liaison).

Il ressort de cette étude que la majorité des étudiants se limitent à une définition introductive du concept de la liaison chimique (82,9%). Cela s'est traduit par le fait qu'environ 46,9% des étudiants ont essayé de dépasser le niveau introductif, 17% ont adopté la liaison covalente et 4,2% ont évoqué le modèle quantique de la liaison chimique. Il semblerait que malgré un enseignement intense de la liaison chimique, les étudiants sujets de l'enquête ne se sont pas vraiment approprié les éléments de bases de la liaison chimique.

3.2 ETUDE DE LA DEFINITION DE LA VALENCE

Le corpus des données recueillies révèle 15 non réponses soit 30% de la population interrogée. Les formulations des 35 étudiants ayant répondu ont été divisées en sous définitions, nous aboutissons ainsi à 40 sous définitions. Dans le Tableau 2 sont regroupées les différentes formulations proposées.

Tableau 2 : Sous définition du concept "valence"

Catégorie	Idee ou Mot clé	Exemple de formulations	% des sous définitions	% des répondants
I	Couche	• c'est la couche extérieure d'un atome.	42,5	48,6
II	Electron	• le nombre d'électrons qui se trouvent sur la couche périphérique.	17,5	20
III	Liaison	• la valence est le nombre de liaisons simples qu'un atome peut former.	10	11,4
IV		Divers	30	37,2

D'après le Tableau 2, la réponse la plus prépondérante de la définition de la valence est "la valence est la couche extérieure d'un atome" (catégorie I). Elle est citée par 48,6% des répondants et représente 42,5% de la totalité des propositions de définitions. Il semblerait donc qu'environ la moitié des étudiants interrogés ne font pas la différence entre le concept de la valence et celui de la couche de valence d'un atome.

Les définitions répertoriées dans les catégories II, III consistent en une multiplicité de définitions plus ou moins correctes et distinctes :

- "La valence est le nombre d'électrons qui se trouvent sur la couche périphérique" (20% des répondants, catégorie II).
- "Le nombre de liaisons simples qu'un atome peut former" (11,4% des répondants, catégorie III).

Cette diversification peut se justifier par le nombre considérable de définitions distinctes relatées dans les ouvrages scientifiques de références représentant le savoir à enseigner relatif à ce concept.

Dans la catégorie IV sont rassemblées les sous définitions diverses. Ces formulations pointent les citations complémentaires telles : "Les électrons de valence participent pour former les liaisons", elles pointent aussi des citations farfelues, « la valence est un angle entre les atomes". Il y a une expression qui indique que : la couche de valence est une orbitale atomique totalement ou partiellement remplie. Elle représente 2,85% des répondants, soit 2,5% de la totalité des sous-définitions données. Il s'agit de difficultés conceptuelles.

La différence très significative du pourcentage de citation des sous-définitions de la catégorie I et celles des catégories II et III met en évidence la persistance de la confusion entre valence et couche de valence.

3.3 ETUDE DE LA DEFINITION DE LA REGLE DE L'OCTET

Le corpus des données recueillies se compose de 16 réponses pour 50 étudiants interrogés, 34 étudiants n'ont donné aucune définition (non-réponse) soit 68% de la population interrogée. Les formulations des 16 étudiants ayant répondu ont été divisées en sous définitions, nous aboutissons ainsi à 16 sous définitions. Les différentes propositions de définitions sont répertoriées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : Sous définition de la règle de l'octet

Catégorie	Idée ou Mot clé	Exemple de formulations	% des sous définitions	% des répondants
I	Electron	• C'est la tendance d'un atome d'être entouré par huit électrons.	56,4	56,4
		• Chaque particule est liée par huit électrons	5,1	5,1
		• Le niveau d'énergie doit être entouré par huit électrons.	5,1	5,1
II	Orbitale	• La tendance d'un atome d'avoir son orbitale externe saturée.	12,5	12,5
III		Divers	25	25

La première catégorie rassemble les différentes propositions exprimant l'idée, qu'un atome doit être entouré par huit électrons (56,4% des répondants), qu'une particule ou un élément doit être entourée par huit électrons (5,1 % des répondants) et qu'un niveau d'énergie doit être entouré par huit électrons (5,1% des répondants). Les deux dernières sous-définitions, mettent en évidence deux types de difficultés : linguistiques (traduites par l'utilisation anarchique des termes substance, élément, particule) et conceptuelles (reflétées par la troisième sous-définition qui stipule que le niveau d'énergie doit être entouré par huit électrons). Le niveau d'énergie est donc confondu à un atome. Ces difficultés, bien qu'elles ne fussent notées que chez un faible pourcentage d'étudiants, ont attiré notre attention car d'une part il s'agit des concepts basiques de la chimie, et d'autre part, la population interrogée est avancée dans ces études des sciences de la matière chimie.

Pour la deuxième catégorie, 12,5% des répondants font la confusion entre couche externe et orbitale. Il s'agit bien de difficultés conceptuelles.

On note également que 25% des répondants ont donné des réponses diverses telles que : des citations complémentaires "La tendance de la molécule d'avoir un état stable", "Un atome électronégatif tire vers lui un atome électropositif". Des citations farfelues "Chaque atome doit être entouré par six atomes".

4 COMPARAISON ENTRE LES REPONSES DES ETUDIANTS DE S2 ET S6

Dans notre ancien article [7] qui concerne les conceptions des étudiants au début du cycle licence à propos du concept liaison chimique et ses concepts associés. Nous avons montré que la majorité des étudiants se limitent à une définition introductive du concept liaison chimique et donc restent au niveau déclaratif des connaissances, pour eux le modèle le plus

approprié de la liaison chimique est celui de la liaison covalente, ce qui risque de constituer un obstacle pour l’approfondissement des connaissances sur les modèles quantiques.

Pour détecter l’évolution des conceptions des étudiants de S2 et S6, nous avons comparé leurs réponses à propos de la définition du concept liaison chimique, valence et règle de l’octet. Le tableau 4 rassemble les pourcentages des réponses des étudiants de S2 [7] et S6.

Tableau 4 : comparaison des réponses des étudiants de S2 et S6

Etudiants	Pourcentage des étudiants de S2	Pourcentage des étudiants de S6
I-Ayant confondu atomes et molécules dans leurs définitions de la liaison chimique.	7,2	6,4
II-Ayant introduit la notion d’entité et d’élément dans leurs définitions de la liaison chimique.	11,4	4,2
III-Ayant confondu type de liaison et nature de liaison.	21,4	19,2
IV-Ayant défini la liaison chimique par la liaison covalente.	11,4	17
V-Ayant introduit la notion d’orbitale atomique dans leurs définitions de la liaison chimique.	1,4	4,2
VI-Ayant confondu valence et couche de valence.	47,2	48,6
VII-Ayant confondu niveau d’énergie et atome dans leurs définitions de la règle de l’octet.	5,1	5,1

Afin de mieux visualiser la comparaison des pourcentages des étudiants de S2 et S6, nous avons représenté les résultats sous forme de colonnes (Fig 1).

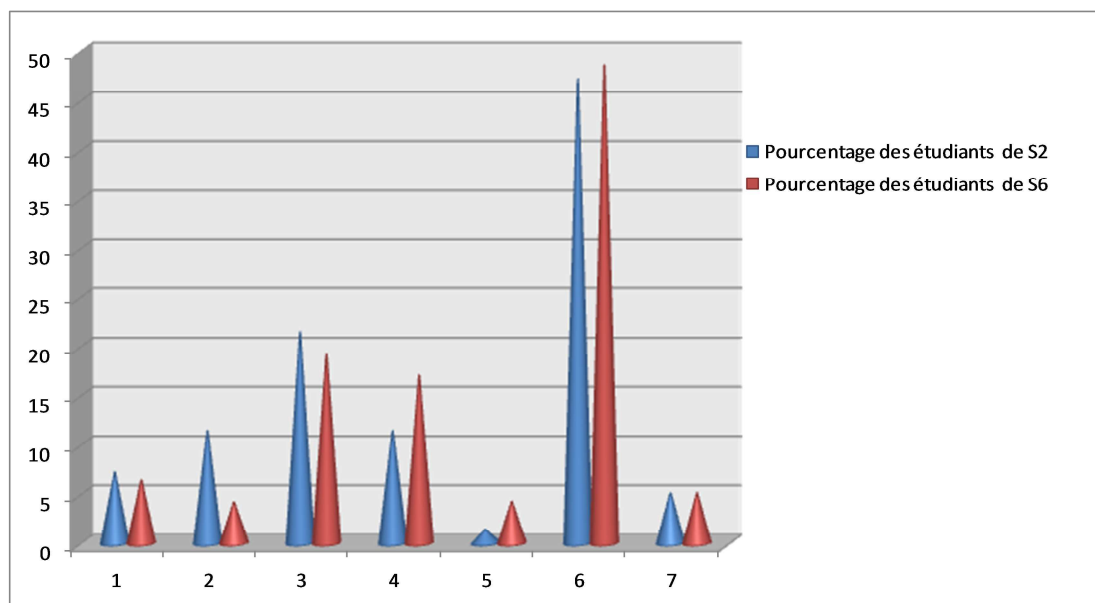


Fig. 1. Comparaison des réponses des étudiants de S2 et S6

D’après le tableau 4, on constate une :

- Légère diminution du pourcentage des répondants qui ont confondu atomes et molécules dans leurs définitions de la liaison chimique. (7,2% pour S2 et 6,4% de S6), ce qui reste en dessous des espérances.
- Diminution du pourcentage des étudiants qui ont introduit la notion d’entité et d’élément dans leurs définitions de la liaison chimique. (11,4% de S2 et 4,2% de S6). Il y a une précision dans la nomenclature et une amélioration dans l’assimilation du vocabulaire français.

- Légère diminution du pourcentage des étudiants qui ont confondu le type et la nature de la liaison (21,4% pour S2 et 19,2% pour S6). Cependant, ce pourcentage reste quand même important ce qui peut s'expliquer par le manque de précision à ce sujet dans quelques ouvrages de références.
- Augmentation du pourcentage des répondants qui ont défini la liaison chimique par la liaison covalente (11,4% pour S2 et 17% pour S6). Il y a donc une réduction de la liaison chimique à la liaison covalente. Il y a donc une persistance des modèles pré-acquis.
- Augmentation du pourcentage des étudiants ayant introduit la notion d'orbitale atomique (1,4% pour S2 et 4,2% pour S6). Ceci est dû à l'utilisation fréquente du terme orbitale atomique.
- Légère augmentation du pourcentage des répondants qui ont confondu valence et couche de valence (47,2% pour S2 et 48,6% pour S6).
- Egalité du pourcentage des répondants qui ont confondu niveau d'énergie et atome (5,1% pour S2 et 5,1% pour S6).

Il ressort de cette étude qu'il y a, une évolution dans les réponses des étudiants mais il y a toujours des confusions conceptuelles (confusion entre atome et molécule, entre niveau d'énergie et atome), des problèmes de nomenclature et de la langue (l'utilisation des termes élément, particule, entité), un réduction de la liaison chimique à la liaison covalente (définie par la mise en commun de deux électrons), une absence de la mécanique quantique dans les réponses des étudiants (les étudiants dans leurs définition de la liaison chimique n'ont pas introduit la notion de recouvrement des orbitales atomiques).

5 CONCLUSION

Au terme de cette étude nous avons pu dégager plusieurs constats : la majorité des étudiants se limitent à une définition introductive et donc restent au niveau déclaratif des connaissances, le modèle le plus approprié de la liaison chimique est celui de la liaison covalente, ce qui risque de constituer un obstacle pour l'approfondissement des connaissances sur les modèles quantiques. En revanche, les modèles quantiques, pourtant objectif principal de l'enseignement suivi par ces étudiants ne semblent pas attirer leur attention. Les notions de la valence et de la règle de l'octet sont loin d'être intégrées et acquises. Enfin, ces constats mettent en évidence que, malgré un enseignement intense de la liaison chimique, les étudiants en fin du cursus licence semblent présenter plusieurs confusions et amalgames relatifs aux concepts liaison chimique et les concepts associés.

La question qui se pose est pourquoi il y a une similitude entre les réponses des étudiants en fin et au début du cycle licence à propos de la définition du concept liaison chimique et ses concepts associés?

REFERENCES

- [1] V. Bernard, "*La liaison chimique : le concept et son histoire*," Collection Science Histoire et Philosophie.
- [2] H. Dhinds and D. Treagust, "Prospective pedagogy for teaching chemical bonding for smart and sustainable learning," *Chem. Educ. Res. Pract*, 15, 435-446, 2014.
- [3] Melanie M. Cooper and Michael W. Klymkowsky, "The Trouble with Chemical Energy: Why Understanding Bond Energies Requires an Interdisciplinary Systems Approach," *CBE Life Science Education*. 12(2): 306–312, 2013.
- [4] Ş. Şenol, and Y. Ayhan, "A Phenomenographic Study on Chemical Bonding," *Journal of Science and Mathematics Education*, 7(2), pp. 144-177, 2013.
- [5] A. Pabuçcu, O. Geban, "Students' Conceptual Level of Understanding on Chemical Bonding," *International Online Journal of Educational Sciences*, 4 (3), 563-580, 2012.
- [6] K.S. Taber, G. Tsaparlis, and C. Nakiboğlu, "Student Conceptions of Ionic Bonding: Patterns of thinking across three European contexts," *International Journal of Science Education*. 34(18), 2012.
- [7] A. Bouayad, F. Kaddari, M. Lachkar, and A. Elachqar, "Conceptions of first-year License students on the concept chemical bond," *Journal of modern education review*, 2014.
- [8] A. Bouayad, F. Kaddari, M. Lachkar, and A. Elachqar, "Quantum model of chemical bonding: Barriers and learning difficulties," *Procedia Social and Behavioral Sciences*. 116, pp: 4612 – 4616, 2014.
- [9] F. Kaddari, "De L'atome à L'atomistique, Etude des principes et des conceptions," Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences Dhar El Mahraz-Fès, Maroc, 2005.

Effect of two watering systems on sorghum productivity in Burkina Faso, West Africa

Pane Jeanne d'Arc Coulibaly¹, Daniel Okae-Anti², Badiori Ouattara¹, Thomas Gaiser³, and Michel Papaoba Sedogo¹

¹Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Centre de Recherches Environnementales, Agricoles et de Formation de Kamboinsé, Burkina Faso

²Department of Soil Science of the School of Agriculture, College of Agriculture and Natural Sciences, University of Cape Coast, Ghana

³University of Bonn, Germany

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

ABSTRACT: Sorghum is the staple crops in the Saharan areas of West Africa. Like other crops, its production is highly dependent on the improved crop seed varieties and on water use efficiency (WUE) and nitrogen use efficiency (NUE). The objective of this study was to assess the effect of sorghum root growth and water and nitrogen use efficiency on grain yield and harvest index under rainfed and drip irrigation conditions. The study was conducted in the Central region of Burkina Faso in 2014. The improved seed variety Sariaso 14 was sown. 60 kg ha⁻¹ of nitrogen was applied. A randomized split-split-plot design with four replications was used. The results showed that the two watering systems had significant effects on sorghum WUE, NUE, root growth, grain yield and harvest index. Root growth was found to be twice higher in the rainfed condition than in the irrigation one. On the other hand, WUE and NUE were higher by 92 and 26% respectively in the irrigated plot. Irrigation was found to improve grain yield and harvest index by 44% and 56% respectively. Irrigation is considered more beneficial for farmers given the erratic distribution of rainfall.

KEYWORDS: Burkina Faso, sorghum, irrigation, rainfed, WUE, NUE.

1 INTRODUCTION

Sorghum is the main staple crops in the semi-arid regions of West Africa. Like other crops, its production is highly dependent on the use of improved crop seed varieties and on the efficient use of water and nitrogen ([1]; [2]). According to reference [3], the improved seed variety has high production; it is also early maturing, drought resistance, or high yielding potential.

In arid and semiarid regions, water and nitrogen are the factors that limit plant productivity ([4]; [5]). Some findings show that water and nitrogen use by plant are correlated: low nitrogen input enhanced drought tolerance and therefore improved water use efficiency [6]. These authors advised the use of low concentration of nitrogen under water stress condition. Reference [7] in their study reported also the negative impact of increasing nitrogen application in severe drought stress.

WUE and NUE are two critical important concepts used to estimate crop productivity. WUE is a yield determinant factor under stress condition [8], while NUE is a concept assessing crop production systems [9]. According to reference [10], WUE is dependent on the quantity of water used to produce grain while NUE is most due to the amount of nitrogen applied and to water management practices.

In Burkina Faso, sorghum production is essentially in rainfed. And yet, in this rainfed agriculture, there is variability in rainfall during the growing season such as the irregularity of rains leading to droughts and dry spells, the occurrence of some heavy rains leading to floods and thus losses of some crops. Managing water and nitrogen in this rainfed agriculture is a key challenge for food production.

Despite their drought tolerance and their high ability to produce higher grain yield, improved seed varieties of crops including sorghum production depend much on the availability of water. According to references [11] and [12], water stress mostly affects crop production; it can involve great economic losses. Water is thus the agent driver of soil nutrients to plants [13]. The objective of this study was to assess the effect of sorghum root growth, WUE, and NUE on grain yield under two watering systems, rainfed and irrigation.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 STUDY SITE DESCRIPTION

The experiments were carried out in 2014 in the Central region of Burkina Faso at Saria research station. It is situated at 82 km south west of the capital, in an agro climatic zone with annual rainfall between 700 and 900 mm. According to the last 35 years rainfall data collected, the average annual rainfall is 811.4 mm with mean rainy days of 63. The soils are mainly Luvisol [14], with granite rock as parent material. These soils have upper horizons of sandy loam to loamy sand texture and generally continuous and massive structure. The rainfed agricultural system is based on cereals, mainly sorghum and millet, grown in association with cowpea.

2.2 METHODOLOGY

Two experiments were laid out in 2014 on two different growing seasons: the first sown in July 5th (rainfed experiment) and the second in October 20th (irrigated experiment in dry season).

The rainfed experiment received rain water only.

Concerning the irrigated experiment, drip irrigation system was used and water has been applied using an approximate estimate of the rate of an unstressed sorghum canopy's potential evapotranspiration, PET (3-4 mm day⁻¹) from October to February according to the meteorology station.

2.3 TREATMENTS APPLIED

Two water regimes have been applied to the irrigated experiment: 100% of potential evapotranspiration (well-watered treatment) and 50% of potential evapotranspiration (water stress treatment). The amount of water applied for the well-watered treatment was 50% of potential evapotranspiration at the beginning of the experiments (from germination to four weeks after emergence), 100% of potential evapotranspiration from four weeks to the grain filling period and 50% of potential evapotranspiration from grain filling period to maturity. For the water stress treatment, the amount of water applied was 50% of potential evapotranspiration during the entire period. Water was applied twice per day in equal amounts. The rainfed experiment has been only watered with rain water.

60 kg ha⁻¹ of urea representing the recommended dose to fertilize sorghum crop in Burkina has been used. This amount of urea has been applied in two equal half doses to the plants.

Improved sorghum seed variety *Sariaso* 14 (110 to 115 days) has been sown.

2.4 EXPERIMENT DESIGN

This study was led in a randomized split-split-plot arrangement in complete block with four replications. The main plot treatment was water levels while the sub-plots treatment was N levels and genotypes. The main plot size was 28.6 m x 7 m and the sub-plot size was 6.4 m x 7 m. The sowing density was 0.8 m between sowing lines and 0.4 m between seed hills. The outer 2 lines and 2 seed hills, each side, were excluded from sampling, resulting in 4 lines by 12 seed hills.

2.5 HUSBANDRY PRACTICES

The experiment areas were ploughed with tractor and harrowed manually before planting. Basal applications of P at 23 kg ha⁻¹ and K at 14 kg ha⁻¹ were applied using triple super phosphate (TSP) and muriate of potash (KCl) respectively.

2.6 MEASUREMENTS

Soil water content: soil water content has been determined at the beginning and at the end of the experiments by gravimetric method. Gravimetric method has been used for this determination in all treatments. Soil samples were taken every two weeks within the four middle lines and in three locations. The samples from the three locations were then mixed to take one composite sample. These samplings were done in the entire treatments in six horizons (0-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 and 100-120 cm) with a graduated drill. The samples were weighed, oven dried at 105 °C for 24 hours and weighed again. Soil water content was estimated as the percentage of the difference between the wet and the dried weight divided by the dried weight.

Root profile: the profile wall method [15] was used to determine roots growth and distribution in all treatments.

Yield and yield components: For the estimation of yield and yield components, the total of seed hills was first counted. After, the straw was cut down, weighed, dried and weighed again. The whole panicles were harvested and weighed. The empty and full panicles were also counted and weighed. Then, the full panicles were sun-dried, threshed, winnowed and the grains weighed.

Water use and water use efficiency: The total water consumption (ET) or water use during these experiments was calculated according to water balance equation given below by references [16] and [17]:

$$ET = P + I + SW - R - D.$$

Where ET is the total soil water consumption (include soil evaporation and plant transpiration);

P (mm) is the rainfall and I (mm) is irrigation amount, R (mm) is the surface runoff; D (mm) is the water drainage below the crop root zone. SW (mm) is the soil water change from sowing to maturity. In our experiment, R and D are assumed to be not significant. This led to: $ET \text{ (mm)} = P + I + SW$.

Experiment 1 (rainfed experiment): $ET \text{ (mm)} = P + SW$

Experiment 2 (irrigated experiment in dry season): $ET \text{ (mm)} = I + SW$

WUE has been calculated according to the equation: $WUE \text{ (kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}) = \frac{\text{Grain yield}}{WU}$

Where ET (mm) or WU (mm) is the total soil water consumption

Nitrogen use and nitrogen use efficiency: Laboratory analysis was performed to assess the amount of nitrogen removed by sorghum crop by analyzing the residues (stem, root and grain) by the Kjeldahl method. The formula used to estimate NUE is that of references [9] and [18].

$$NUE \text{ (\%)} = \frac{\text{Nitrogen removed by crop}}{\text{Nitrogen applied}} \times 100$$

Statistical analysis: All data obtained from the measurements were subjected to analysis of variance (ANOVA) using XLSTAT version 2016 software. The means of the main effects were compared using Student – Newman - Keuls' multiple range tests at 5% of probability level. A two tailed test was subsequently used to compare the means when p. values ≤ 0.05 .

3 RESULTS

The analysis of variance performed on the data from the two watering systems shows the following results on water use and water use efficiency, and on nitrogen removed by crop and nitrogen use efficiency (Table 1).

With regards to water use and water use efficiency, the analysis of variance indicated high significant influence of watering system ($P < 0.0001$). By this analysis, it was found that the high use of water contributed to the low efficiency use of water (Table 1). This table displays that while the irrigated experiment consumed less water (316 mm) to produce large WUE ($7.34 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), the rainfed experiment consumed more water (878 mm) to produce low WUE ($1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$). Irrigated experiment used water efficiently by 92% more than the rainfed experiment (Table 1).

Table 1: Effects of watering system on sorghum WUE and NUE

Watering system	WU (mm)	WUE (kg ha ⁻¹ mm ⁻¹)	N crop (g)	NUE (%)
Rainfed	878 a	1 b	3.4 b	6 b
Irrigation	316 b	7.34 a	7.1 a	10 a
p.	***	***	**	**

Within rows, means followed by the same letter are not significantly different at $P. < 0.025$.

The irrigation amount is obtained by the mean value between 50% and 100% PET representing the water use (WU)

WUE: water use efficiency N crop: nitrogen removed by crop

NUE: nitrogen use efficiency

** : significant

*** : high significant

With regards to nitrogen fertilization (Table 1), the application of 60 kg ha⁻¹ of nitrogen influenced significantly N uptake by sorghum crop and NUE ($P. < 0.025$) in the two watering systems. Nitrogen removed by crop and its efficient use was 26% higher in the irrigated experiment than in the rainfed one.

The effect of these two watering systems on soil water content has been also assessed in the horizon 0 to 120 cm. The results presented in Table 2 showed that in the first 60 cm of layer, there was no significant difference between soil water content from the rainfed experiment and that of the irrigated one. But from 60 to 120 cm of soil depth, the rainfed experiment was found to have the highest soil water content (twice more than the irrigated one).

Table 2: Soil water content

Watering systems	Depth (cm)					
	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120
Rainfed	11.3 a	14.8 a	16.7 a	16.5 a	15.9 a	15.3 a
Irrigation	9.6 a	10.8 a	13.1 a	11.9 b	12.5 b	11.5 b
p.	*	*	*	**	**	**

Within rows, means followed by the same letter are not significantly different at $P. < 0.025$.

* : non-significant

** : significant

Sorghum root numbers and rooting depth have been evaluated on the two watering systems (Figure 1). The analysis of variance showed highly significant influence ($P. < 0.0001$) of these different watering systems on sorghum root numbers and rooting depth.

Under rainfed experiment, root numbers and depth were twice more important than in the irrigated experiment.

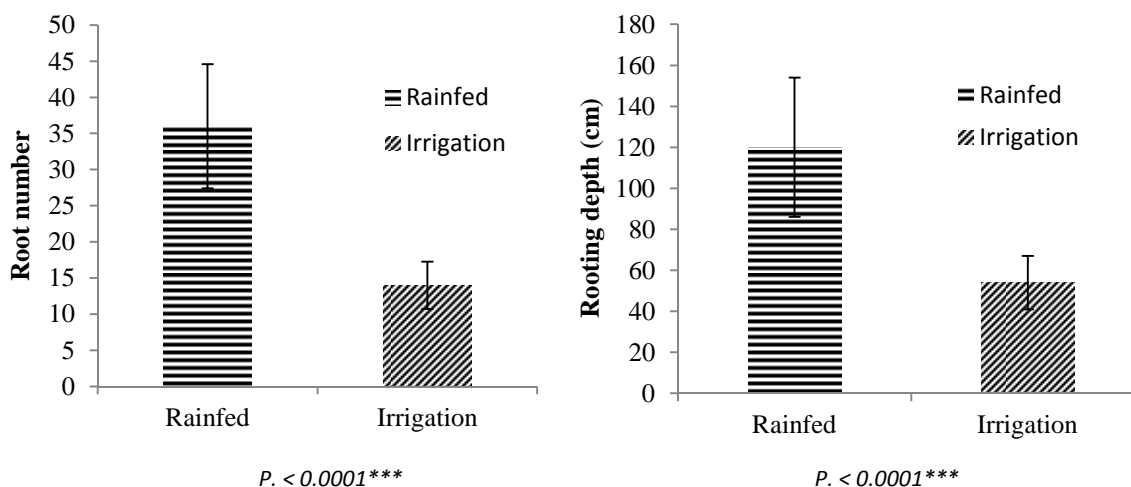


Figure 1: Effects of watering system on sorghum root growth

***: highly significant

The bars on the graphs represent the errors bars

Yield and yield components have been assessed. The two watering systems had no statistical difference on straw yield. But, significant difference was noted in grain yield and harvest index ($p < 0.025$). It was observed that sorghum grain yield and harvest index were 44% and 56% respectively higher under irrigation than under rainfed condition.

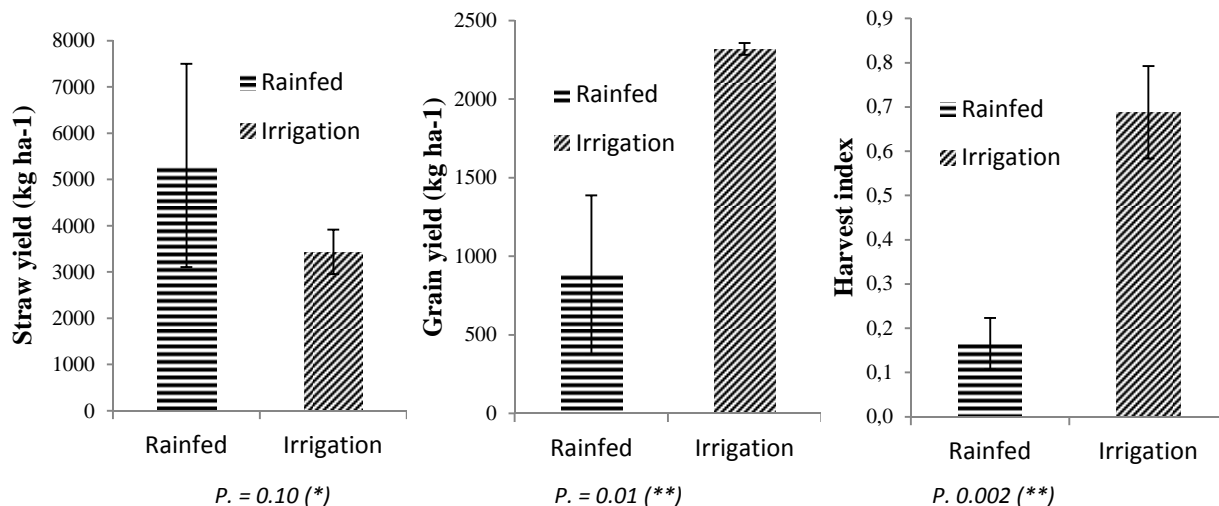


Figure 2: Effects of watering system on sorghum straw yield, grain yield and harvest index

*: non-significant

** : significant

The bars represent the standards errors

4 DISCUSSION

By the two experiments, it was observed that the irrigated experiment used less water compared to the rainfed experiment. However, water and nitrogen have been used more efficiently in this irrigated experiment than in the rainfed one. The efficient use of water and nitrogen in the irrigated experiment was due to water management practice. In drip irrigation system, water is uniformly distributed around root zone. This water dissolves nitrogen and then the nutrient is easily and efficiently used by plants. The low WUE and NUE observed in the rainfed experiment comparatively to the irrigated one agrees with that of reference [19] who found WUE and NUE greater in their study sites where irrigation was applied. These authors indicated that the rainfed experiments recorded the lowest WUE and NUE. The low values of WUE and NUE in the rainfed condition were due to the fact that, under rainfed condition, nutrients could be lost through leaching as the amount of water was found great in the deeper soil layer in this experiment. This nitrogen leaching could occur mainly at the beginning of the experiment when rooting system was not yet well developed. Reference [20] noticed that runoff, leaching, denitrification, and volatilization may be the mechanisms by which nitrogen is lost from the soil. But for these authors nitrogen losses from the soil were mainly due to the volatilization.

The study revealed that rainfed experiment recorded the highest amount of soil water content in the deeper horizons. Moreover, root numbers and rooting depth were highly important in this experiment. The high root growth in the rainfed experiment was thus linked to water content into the soil. These observations highlighted the fact that a part of water during the rainfed experiment has been stored at greater depths of soil while water from the irrigated experiment stayed superficially around the roots zone. The high moisture found in the rainfed experiment at the deeper layers allowed more roots growth and subsequent development. Despite this high roots growth in the rainfed experiment, WUE and NUE were greater in the irrigated experiment indicating that the roots system extracted water and nutrients more efficiently in the irrigated experiment. The high WUE and NUE in the irrigated experiment were therefore due to the availability of water around root zones but not to the rooting depth. This result contrasted those of references [21] and [22] who found that crop nutrients uptake from the soil to fill plant needs and to improve crop production was mostly due to the rooting depth.

Similarly to WUE and NUE, grain yield and harvest index were also found to be higher in the irrigated experiment than in the rainfed experiment. By these experiments, it was noted that sorghum productivity is linked to high WUE and NUE but not

to high root growth as was indicated by the findings of reference [23]. These authors linked sorghum crop productivity to its root numbers and rooting depth. From reference [9], it was learned that WUE and NUE are two critical important concepts used to estimate crop productivity. According to Reference [8], WUE is a yield determinant factor under stress condition while NUE according to reference [9] is a concept assessing crop production systems. These two factors being high in the irrigated experiment led to increase grain yield and harvest index respectively by 44% and 56% than in the rainfed one. References [24] and [25] demonstrated a link between WUE and sorghum yield; WUE increased when grain yield increased. Also, harvest index was found to increase under high NUE [26].

5 CONCLUSIONS

Cropping sorghum under drip irrigation experiment contributed to enhance sorghum productivity through the efficient use of water and nitrogen. The great water use and root growth in the rainfed experiment did not improve sorghum grain yield compared to the drip irrigated experiment where grain yield has been much improved with low water use and low root growth and development. Given the erratic rainfall in rainfed agriculture, sorghum production under irrigation could be beneficial for farmers.

ACKNOWLEDGEMENTS

The lead author is grateful to the West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use programme for providing funds for her PhD study. She is also grateful to the staff of the Institut de l’Environnement et de recherches Agricoles (INERA)/Kamboinsé especially to her field assistants and to the laboratory assistant who contributed a lot to the success of her study during data collection and their analyses. She is also grateful to Dr. Pare Jean for his support during the drafting of this manuscript.

REFERENCES

- [1] N. D. Mueller, J. S. Gerbe, M. Johnston, D. K. Ray, N. Ramankutty, and J. A. Foley, “Closing yield gaps through nutrient and water management”, *Nature*, vol. 490, n°7419, pp. 254-257, 2012.
- [2] A. Rahimi, F. Sayadi, and H. Dashti, “Effects of water and nitrogen supply on growth, water-use efficiency and mucilage yield of isabgol (*Plantago ovata* Forsk)”, *Journal of soil science and plant nutrition*, vol. 13, n°2, pp. 341-354, 2013.
- [3] A. G. Timu, R. Mulwa, J. Okello, and M. Kamau, “The role of varietal attributes on adoption of improved seed varieties: the case of sorghum in Kenya”, *Agriculture & Food Security*, vol. 3, n°1, pp. 1-7, (2014).
- [4] C. A. Jaleel, P. Manivannan, A. Wahid, M. Farooq, R. Somasundaram, and R. Panneerselvam, “Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition”, *International Journal of Agriculture & Biology*, vol. 11, n°1, pp. 100–105, 2009.
- [5] M. Aslam, M. S. I. Zamir, I. Afzal, M. Yaseen, M. Mubeen, and A. Shoaib, “Drought stress, its effect on maize production and development of drought tolerance through potassium application”, *Cercetări Agronomice în Moldova*, vol. 46., n°2, 154 p., 2013..
- [6] B. Liu, C. Liang, M. Li, D. Liang, Y. Zou, and F. Ma, “Interactive effects of water and nitrogen supply on growth, biomass partitioning, and water-use efficiency of young apple trees”, *African Journal of Agricultural Research*, vol. 7, n°6, pp. 978-985, 2012.
- [7] E. Gholinezhad, A. H. Aynaband, , A. Noormohamadi, G. I. Bernousi, “Study of the effect of drought stress on yield, yield components and harvest index of sunflower hybrid iroflor at different levels of nitrogen and plant population”, *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, vol. 37, n°2, 85 p., 2009.
- [8] A. Blum, “Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress”, *Field Crops Research*, vol. 112, n°2, pp. 119-123, 2009.
- [9] P. Fixen, F. Brentrup, T. W. Bruulsema, F. Garcia, R. Norton, and S. Zingore, “Nutrient/fertilizer use efficiency: Measurement, current situation and trends, Managing Water and Fertilizer for Sustainable Agricultural Intensification, 8 p., 2015.
- [10] R. Monclus, E. Dreyer, M. Villar, F. M. Delmotte, D. Delay, J. M. Petit, C. Barbaroux, D. Thiec, C. Bréchet, and F. Brignolas, “Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoids* × *Populus nigra*”, *New phytologist*, vol. 169, n°4, pp. 765-777, 2006.
- [11] H. Nazarli, M. R. Zardashti, R. Darvishzadeh, and N. Solmaz, “The effect of water stress and polymer on water use efficiency, yield and several morphological traits of sunflower under greenhouse condition” *Notulae Scientia Biologicae*, vol. 2, n°4, pp. 53-58, 2010.

- [12] T. Boutraa, A. Akhka, A. Abdulkhaliq, and A. M. A. Al-Shoaibi, "Effect of water stress on growth and water use efficiency (WUE) of some wheat cultivars (*Triticum durum*) grown in Saudi Arabia" *Journal of Taibah University for Science*, vol. 3, pp. 39-48, 2010.
- [13] V. Gonzalez-Dugo, J. L. Durand, and F. Gastal, "Water deficit and nitrogen nutrition of crops. A review. *Agronomy for sustainable development*, vol. 30 n°3, pp. 529-544, 2010.
- [14] FAO "World reference base for soil resources—a framework for international classification, correlation and communication", *World Soil Resources Report*, vol. 103, 2006.
- [15] D. Sauerbeck, W. Böhm: *Methods of Studying Root Systems. Bd. 33 der "Ecological Studies-Analysis and Synthesis", herausgegeben v. WD Billings et al., Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1979, ISBN,3-540-09329-X, 188 S., 69 Abb., Leinen DM 69,-. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, vol. 143, n°3, pp. 362-363, 1980.
- [16] P. Bandyopadhyay, S. Mallick, and S. Rana, "Water balance and crop coefficients of summer-grown peanut (*Arachis hypogaea* L.) in a humid tropical region of India, *Irrigation Science*, vol. 23, n°4, pp. 161-169, 2005.
- [17] S. M. Ismail, K. Ozawa, and N. A. Khondaker, "Influence of single and multiple water application timings on yield and water use efficiency in tomato (var. *First power*)", *Agricultural water management*, vol. 95, n°2, pp. 116-122, 2008.
- [18] F. Brentrup, and C. Pallière, "Nitrogen use efficiency as an agro-environmental indicator. in *Proceedings of the OECD Workshop on Agrienvironmental Indicators*, March 2010.
- [19] J. T. Bushonga, E. C. Millera, J. L. Mullocka, D. B. Arnalla, and W. R. Rauna, "Irrigated and Rain-fed Maize Response to Different Nitrogen Fertilizer Application Methods", *Journal of Plant Nutrition*, 2016 (just-accepted).
- [20] M. A. Monem, W. L. Lindsay, R. Sommer, and J. Ryan, "Loss of nitrogen from urea applied to rainfed wheat in varying rainfall zones in northern Syria", *Nutrient cycling in agroecosystems*, vol. 86, n°3, pp. 357-366, 2010.
- [21] A. P. Wasson, R. A. Richards, R. Chatrath, S. C. Misra, S. V. Sai Prasad, G. J. Rebetzke, J. A. Kirkegaard, J. Christopher and M. Watt, "Traits and selection strategies to improve root systems and water uptake in water-limited wheat crops", *Journal of Experimental Botany*, Vol. 63, n°9, pp. 3485-3498, 2012.
- [22] B. M. Atta, T. Mahmood, and R. M. Trethowan, "Relationship between root morphology and grain yield of wheat in north-western NSW, Australia". *Australian Journal of Crop Science*, vol. 7, n°13, pp. 2108-2115, 2013.
- [23] E. R. de Souzaa, A. A. de Assunção Montenegroa, S. M. G. Montenegrob, J. de Arimatea de Matos, "Temporal stability of soil moisture in irrigated carrot crops in Northeast Brazil", *Agricultural water management*, vol. 99, n°1, pp. 26-32, 2011.
- [24] M. M. Hussein, and A.K. Alva, "Growth, Yield and Water Use Efficiency of Forage Sorghum as Affected by Npk Fertilizer and Deficit Irrigation", *American Journal of Plant Sciences*, vol. 5, pp. 2134-2140, 2014.
- [25] J. P. Broeckelman, G. J. Kluitenberg, K. Roozeboom, and I. A. Ciampitti, "Grain Sorghum Yield Response to Water Availability", *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports*, vol. 1, n°2, pp. 1-5, 2015.
- [26] A. Jr. Bufogle, P. K. Bollich, J. L. Kovara, R. E. Macchiavelli, and C. W. Lindau, "Rice variety differences in dry matter and nitrogen accumulation as related to plant stature and maturity group 1". *Journal of plant nutrition*, vol 20 n°9, pp. 1203-1224, 1997.

Dépenses énergétiques et consommations alimentaires des transporteurs à vélo du charbon de bois à Lubumbashi

[Energetical expenses and food consumptions of charcoal bicycle carriers in Lubumbashi]

Mulungulungu N. Déogratias and Sumaili Mukakakera

Ecole de Santé publique,
Université de Lubumbashi,
Lubumbashi, RD Congo

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

ABSTRACT: Study on feeding and nutrition of 206 bicycle carriers of charcoal has been carried out on several Lubumbashi roads, that is, Kafubu, Kasenga, Kasumbalesa, Kipopo, Likasi and Rwashi. It results from this study that the nutritional status is standard with a body mass index of $22, 3 \pm 1, 9$ for a narrow breadth person. Need and food supplies evaluation shows that they have a deficient diet in energy as well as in nutrients (proteins and lipids). These results are alike as those published in the literature. So, we plead in favour of systematic enrichment in diet supplies for this category of carries.

KEYWORDS: Feeding, nutrition, carriers, charcoal, Lubumbashi.

RESUME: L'alimentation et la nutrition de 206 transporteurs à vélo du charbon de bois ont été étudiées sur les axes Kafubu, Kasenga, Kasumbalesa, Kipopo, Likasi et Rwashi à Lubumbashi.

Les résultats obtenus indiquent un état nutritionnel normal avec un indice de masse corporel de l'homme à carrure étroite de $22,3 \pm 1,9$. L'évaluation des besoins et apports alimentaires a montré que les régimes alimentaires étaient déficitaires en énergie et en nutriments (protéines et lipides). Ces résultats sont conformes à ceux publiés dans la littérature et plaident pour un enrichissement systématique des apports en nutriments chez cette catégorie de travailleurs.

MOTS-CLEFS: Alimentation, nutrition, transporteurs, charbon, Lubumbashi.

1 INTRODUCTION

Au niveau mondial, le bois ne joue plus un rôle énergétique important et a été remplacé par d'autres sources énergétiques comme, le charbon, le gaz ou l'énergie nucléaire, consommés par les pays « industrialisés » et les nouvelles économies à croissance rapide.

Toutefois, le bois comme source énergétique continue à jouer un rôle important dans les pays dits « en voie de développement » [1].

Selon les estimations, en RDC, le bois couvre actuellement 92% des 21.7 millions de tonnes d'équivalent de pétrole consommation énergétique, cubes de bois par an [2].

Ce tonnage représente 67,5 millions de tonnes de bois ou 178 millions de stères.

Il importe de signaler que la principale source d'énergie industrielle en RDC est l'énergie électrique produite essentiellement par des barrages électriques qui ne satisfont plus la demande suite à plusieurs facteurs dont :

- le manque d'entretien des installations ;
- le manque d'une politique prévisionnelle ;
- l'industrialisation ;
- l'accroissement de la population.

Ainsi à Lubumbashi située à 1230 m d'altitude et dont la population est estimée à 1 750 000 habitants en 2014 (Source : Bureau Etat-Civil de la Mairie Lubumbashi) pour une superficie de 747km² et une densité de 2 391 habitant/km² l'on assiste à un déficit réel d'énergie électrique, ce qui amène les ménages à recourir au charbon de bois dont les sources d'approvisionnement sont éloignées parfois de plus de 40 km des centres de consommation.

Le transport du charbon de bois se fait à l'aide de véhicules motorisés, des charriots et des vélos. Les quantités de bois-énergie consommées en milieu urbain de Lubumbashi peuvent être estimées à 323 000 tonnes de charbon de bois [3].

Tous les jours, l'on observe des transporteurs de charbon de bois circuler à vélo et avec peine un peu partout dans la ville de Lubumbashi rentrant à domicile ou vendant leur cargaison constituée parfois de plusieurs sacs.

Cette activité s'est développée de façon spontanée et garantit actuellement la survie énergétique et alimentaire des ménages [4].

Ces transporteurs portant sur leurs vélos des charges avoisinant les 150kg sur des distances dépassant parfois les 50 km dépensent beaucoup de calories et peuvent être placés dans la catégorie des travailleurs de force. Nous nous sommes assignés comme objectif d'étudier leur alimentation et dégager leurs bilans énergétiques.

2 MILIEU, MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MILIEU

La présente étude a été effectuée sur les six axes d'entrée de la ville de Lubumbashi suivants :

- Axe Kasenga : bifurcation route Kasenga et Likasi ;
- Axe Kipopo : Marché Moïse sur la route Kasapa, terminus Malela, Terminus météo 1 ;
- Axe Rwashî : Bifurcation Routes Luwowoshi et Chemaf ;
- Axe Kafubu : Marché Tabacongo ;
- Axe Likasi : bifurcation route Likasi et Kasenga ;
- Axe Kasumbalesa : bifurcation route Kipushi et Kasumbalesa à la station la Bohém

La carte ci-dessous illustre les différents axes.

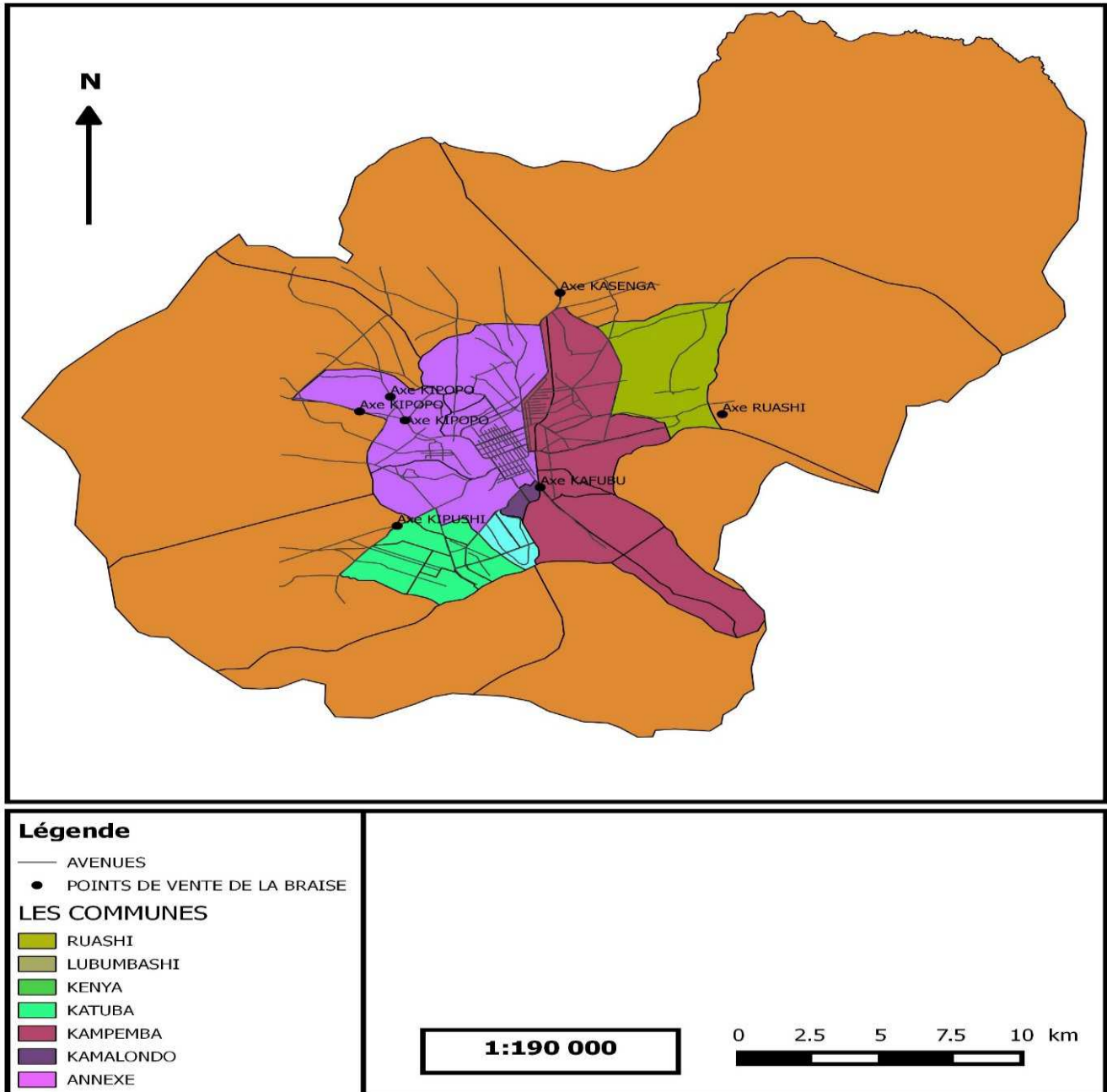


Figure 1 : Cartographie des axes étudiés

La période d'étude va du 28/07/2014 au 15/01/2015.

2.2 MATERIEL

Les principaux matériels étaient constitués :

- des transporteurs de charbon de bois ;
- une balance pèse personne de marque SOEHNLE, maximum 130kg ;
- une balance de marque BUEHLER de portée maximale 5kg ;
- une toise ;
- Le logiciel de statistique SPSS série 18.0 et Excel.

2.3 METHODES

La population d'étude était de 752 transporteurs à vélo de charbon de bois. L'échantillon a été tiré selon la méthode de sondage empirique de volontariat. Il était de 206 individus.

Ainsi le critère d'inclusion était être transporteur à vélo de charbon de bois à plus de 20 km du lieu d'achat et accepter volontairement de participer à l'étude.

- *Enquêtes socio- démographique, alimentaire et détermination de la ration calorique*

Sur base d'un questionnaire, les enquêtés étaient interrogés sur leur âge, leur état civil, la composition familiale, le nombre de courses effectuées par jour, l'ancienneté dans l'activité, la taille du ménage, les affections associées.

Des questions leur étaient aussi posées sur leur alimentation du jour, de la veille et des deux jours avant afin de connaître les aliments habituellement consommés, les quantités ainsi que les fréquences des repas et les apports journaliers en nutriments.

La pesée des aliments a été effectuée à l'aide d'une balance de marque BUEHLER. La conversion des quantités d'aliments en différents nutriments et énergie a été obtenue à l'aide des tables de composition alimentaire [5].

- *Détermination des paramètres anthropométriques* [6].

Le poids

La pesée a été effectuée à l'aide d'une balance digitale pèse-personne de marque SOEHNLE ;

La personne se tient debout, dépourvue de toute charge, bras le long du corps, tête tournée un petit peu vers le haut. Le poids en kilogramme est lu sur un écran.

La taille

La taille a été mesurée à l'aide d'une toise, la personne étant déchaussée, appuyée sur le mur, la nuque et le talon touchant le mur.

La lecture était faite au ras de la tête et la taille exprimée en mètre.

L'Indice de masse corporelle (IMC)

Il a été obtenu en divisant le poids en kilogramme par le carré de la taille en mètre ($IMC=P/t^2$).

3 RESULTATS ET DISCUSSION

Les réponses qualitatives multiples étaient codées en chiffre et le binaire en deux (2 correspond à non et 1 à oui). Cela a permis de saisir les données sur une page Excel.

Après saisie, les données ont été vérifiées, corrigées et nettoyées à l'aide du programme SPSS.

Le test statistique utilisé est celui de Student, il nous a permis de comparer les besoins en nutriments et les apports de l'individu moyen.

3.1 RESULTATS

- Caractéristiques sociodémographiques

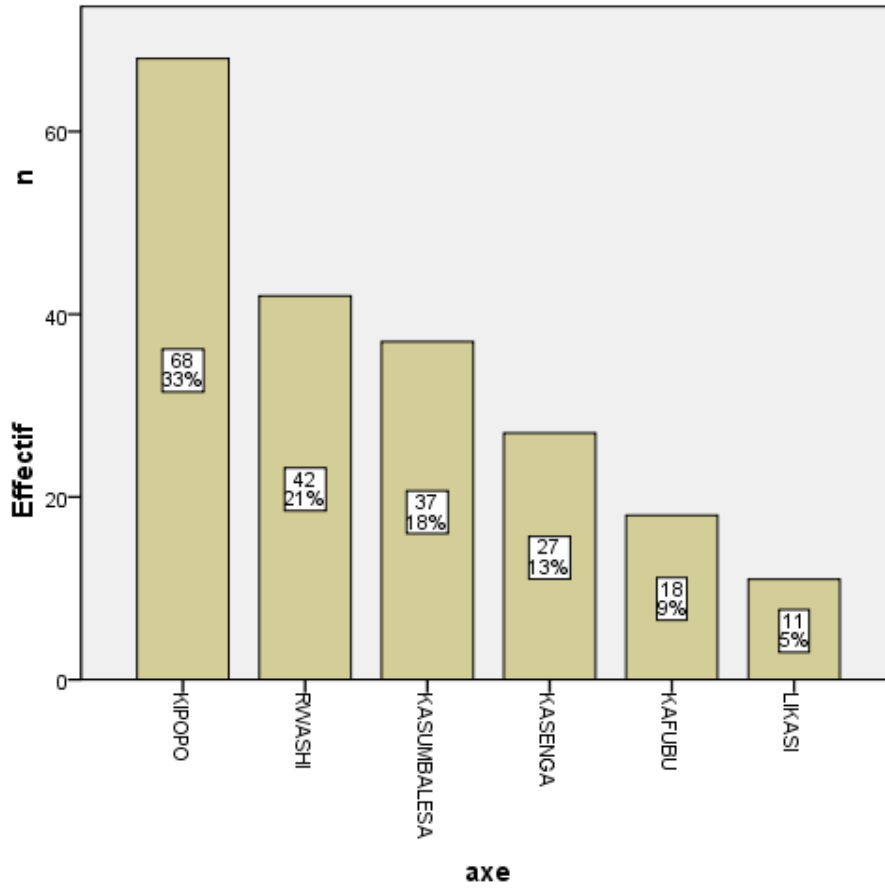


Figure 2. Répartition des transporteurs suivant l'axe d'approvisionnement

L'axe principal d'approvisionnement en charbon de bois était l'axe Kipopo avec 33% d'effectifs, suivi de l'axe Rwashi et Kasumbalesa avec respectivement 21 et 18% d'effectifs (Figure 2).

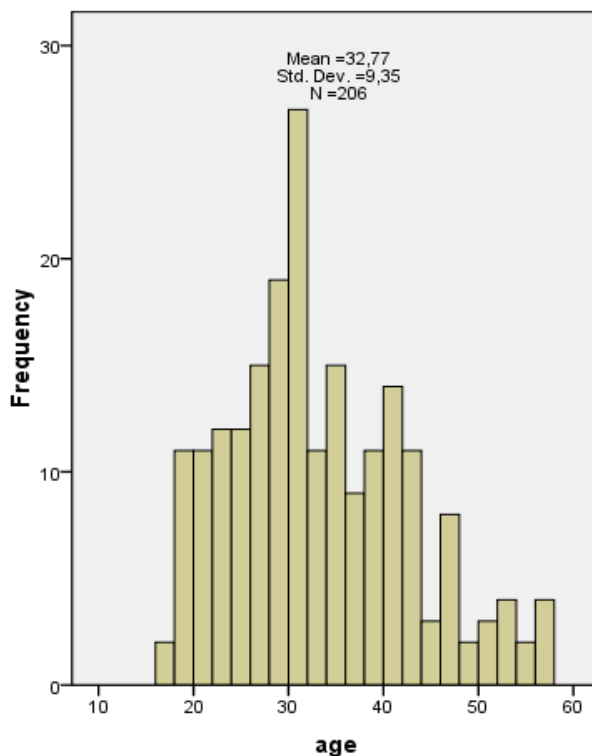


Figure 3. Distribution de l'âge des transporteurs de braise

L'âge moyen de la population d'étude était de 32±9 ans avec un minimum de 17 ans et un maximum de 57 ans. La distribution de l'âge était normale (Figure 3).

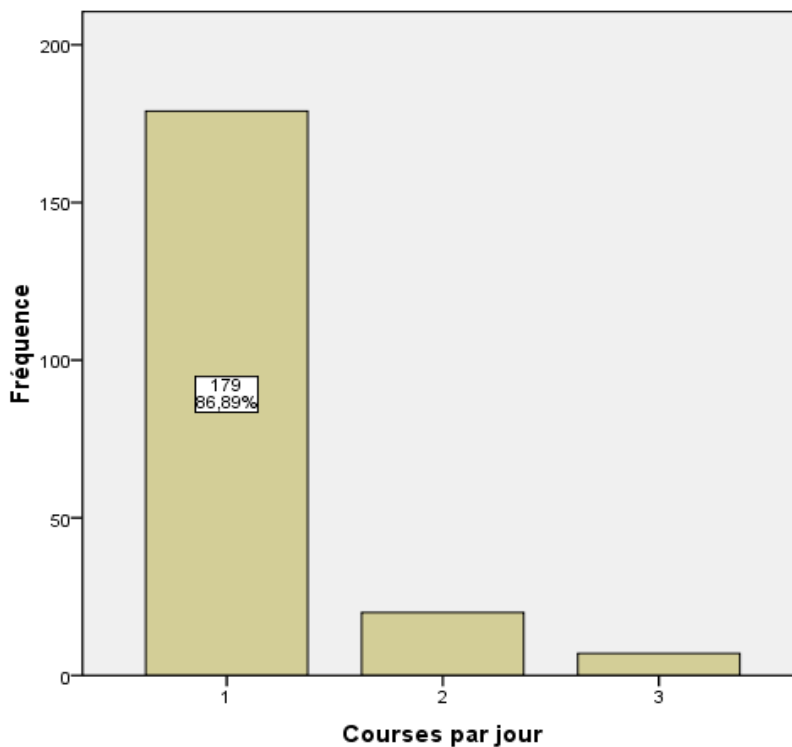


Figure 4. Répartition des transporteurs selon le nombre de courses effectuées

La majorité de transporteurs de braise effectuait en moyenne une course par jour, soit 179 (86,9%) transporteurs, suivi de ceux effectuant deux courses avec un effectif de 20 (9,7%) transporteurs et enfin ceux effectuant trois courses avec 7(3,4%) transporteurs (Figure 4).

- Paramètres anthropométriques

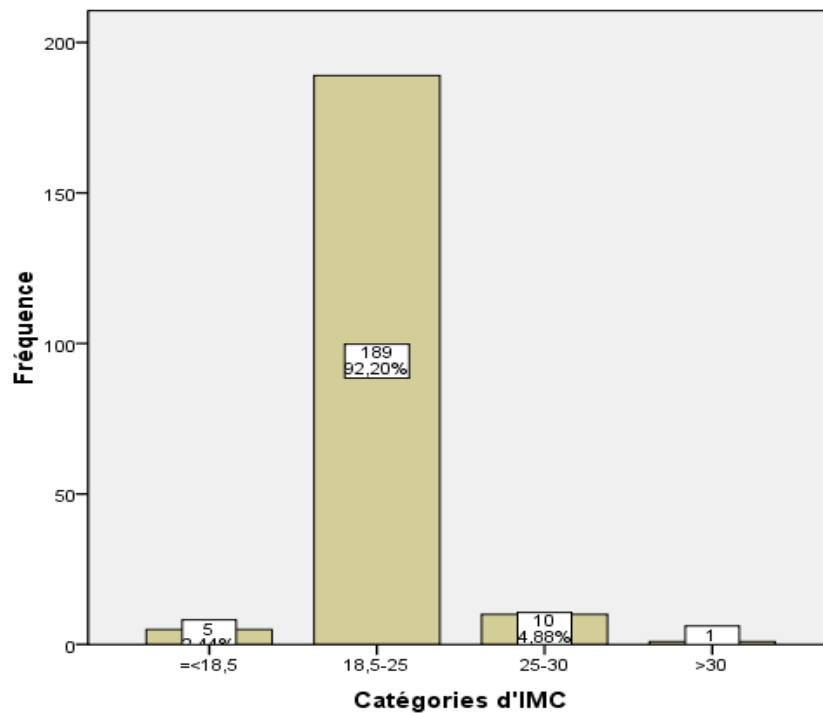


Figure 5. Répartition des transporteurs selon l'indice de masse corporelle

La majorité, soit 92,2% de transporteurs avait un IMC normal. La malnutrition ne représentait que 2,2%, le surpoids 4,4% et l'obésité n'était observée que chez un seul transporteur (Figure 5).

Tableau I. Comparaison de poids, de la taille et de l'indice de masse corporelle en fonction des axes de parcours

Axes	Poids (Kg)	Taille (m)	Indice de masse corporelle (Kg/m ²)
Kasenga	55,7±5,2	1,5±0,05	21,8±1,5
Kipopo	60,1±6	1,6±0,08	22±1,5
Rwashi	57,4±6,7	1,6±1,1	21,6±3
Kasumbalesa	60,5±6,7	1,6±0,06	22,3±1,9
Kafubu	59,5±7,5	1,6±0,07	21,5±1,9
Likasi	54,6±6,5	1,5±0,04	22±0,6
P value	0,001	0,003	0,638

Aucune différence significative n'était observée entre l'indice de masse corporelle de transporteurs de différents axes. Par contre, le poids et la taille avaient présenté de très grandes différences entre les axes. Les transporteurs de Kipopo et de Kasumbalesa avaient des poids et des tailles élevés (Tableau I).

Tableau II. Comparaison de l'âge des transporteurs de différents axes

Axes	Moyenne ± Ecart type	P value
Kasenga	30±11	
Kipopo	32±8	
Rwashi	33±8	0,046
Kasumbalesa	33±12	
Kafubu	33±8	
Likasi	39±8	

Une différence significative était constatée entre l'âge de transporteurs de différents axes d'approvisionnement ($p=0,046$). Les transporteurs de l'axe Likasi étaient les plus âgés (Tableau II).

Tableau III Répartition des transporteurs selon leur état civil

VARIABLES	FREQUENCES	%
Mariés	185	89,8
Celibataires	21	10,2

Les mariés étaient les plus représentés dans la population d'étude avec 185(89,8%) transporteurs contre 21(10,2%) transporteurs célibataires.

Tableau IV. Description de l'ancienneté dans l'activité et taille de ménage

Variables	Moyenne ± Ecart type	Minimum-maximum
Ancienneté dans l'activité (ans)	4±2	1-21
Taille de ménage	4±2	0-10

L'ancienneté moyenne dans l'activité était de 4±2 ans avec un minimum de 1 an et un maximum de 21 ans. La taille de ménage était en moyenne de 4±2 avec un minimum de 0 et un maximum de 10 enfants (Tableau IV).

Tableau V. Association entre les pathologies et les axes d'approvisionnement

Axes	Général	Kasenga	Kipopo	Rwashi	Kasumbalesa	Kafubu	Likasi	P value
Hémorroïde	67(33,3)	15(55,6)	23(34,3)	11(28,2)	8(22,2)	4(22,2)	5(45,5)	0,07
Lombalgie	173(86,1)	23(85,2)	55(82,1)	33(84,6)	31(86,1)	17(94,4)	11(100)	0,115
Douleur musculaire	169(84,1)	21(77,8)	56(83,6)	28(71,8)	32(88,9)	18(100)	11(100)	0,023
Dos	12(7)	3(15,0)	4(7,1)	0(0,0)	0(0,0)	0(0,0)	0(0,0)	0,027
Céphalée	34(16,9)	3(11,1)	7(10,4)	11(28,2)	6(16,7)	6(33,3)	1(9,1)	0,145
Toux	15(7,5)	3(11,1)	3(4,5)	2(5,1)	0(0,0)	3(16,7)	3(27,3)	0,155
Hernie	11(5,5)	1(3,7)	7(10,4)	1(2,6)	1(2,8)	0(0,0)	1(9,1)	0,359
Fatigue	15(8,5)	1(5,0)	6(10,5)	2(6,2)	3(8,3)	3(16,7)	0(0,0)	0,953
Fièvre typhoïde	3(1,7)	0(0,0)	2(3,5)	1(3,1)	0(0,0)	0(0,0)	0(0,0)	0,377

De toutes les pathologies identifiées lors de l'enquête, seules les douleurs musculaires et les douleurs des os étaient significativement associées aux axes d'approvisionnement de braïse ($p<0,05$). Les douleurs musculaires étaient plus représentées sur les axes Kafubu et Likasi. Par contre les douleurs des os étaient plus fréquentes sur l'axe Kasenga. Les autres pathologies étaient indistinctes sur les axes (Tableau V).

Tableau VI. Comparaison de la distance et le poids suivant les axes

Axes	Distance (Km)	Poids transporté (Kg)
Kasenga	84,3±24	109,4±23,5
Kipopo	99,1±30,5	107,1±21
Rwashi	76,2±29,6	101,2±25,2
Kasumbalesa	93,1±50,7	96,2±18,6
Kafubu	52,8±34,4	96,2±29
Likasi	79,4±31,5	97,7±34
Population	86,2±36,6	102,4±23,7
P value	0,000	0,100

La distance moyenne parcourue par les transporteurs était de 86,2±36,6km et le poids moyen de 102±23,7kg. Aucune différence significative n'était constatée entre le poids moyen de sacs transportés. La distance parcourue était différente selon les axes ($p < 0,05$) (Tableau VI).

Tableau VII. Fréquence de consommation et apport alimentaires

Aliments consommé	Fréquence	Quantité consommée (g)	Kcal	Protéines(g)	Lipides(g)	Glucides(g)
Huile	206(100)	60	540	0	60	0
Haricots	201(98,5)	150	495	28,5	2,25	76,65
Riz	198(97,5)	250	880	47,75	2,75	191,5
Légumes	192(94,6)	150	34,5	2,25	0,3	6
Poissons frais	192(96)	100	92	18,7	1,4	0
Viande	184(90,2)	150	183	45,6	3,3	0
Farine de maïs	183(91,5)	350	1260	32,55	14	252
Fretins	177(86,8)	100	76	18	0,5	0
Patates douces	175(86,2)	250	285	3,75	0,75	65
Poissons salés	172(84,3)	100	255	50	7	0
Tilapia	175(87,5)	75	148,5	15	1,5	0
Sucre	141(70,9)	20	76	0	0	19
Pain	130(63,4)	150	393	12,45	1,8	82,5
Arachide	124(60,2)	20	120,2	5,4	9,8	2,6
Manioc	114(55,3)	150	151,5	3,15	0,15	34,5
Bière	85(41,7)	150	69	0,6	0	0,6
Lait	49(23,9)	20	109,2	7	0,14	10

Le Tableau VII représente les consommations et les apports alimentaires moyens par individu.

Tableau VIII. Besoins et apports alimentaires par axe d'approvisionnement

Axes	Besoins (Kcal)	Apport (Kcal)	Besoin protéines(g)	Apport protéines(g)	Besoin lipides(g)	Apport lipides(g)	Besoin glucides(g)	Apport glucides(g)
Kasenga	3210	3026,2	120	75,15	71,3	60	521	501,9
Kipopo	3657,5	3369,2	137,1	113,5	101,6	36,2	548,6	613,3
Rwashi	3155,6	2453,8	118,3	73,6	87,6	71,9	473,3	487
Kasumbalesa	3060,9	2344	114,8	85,5	85,02	75,8	459	365
Kafubu	2736,8	3008,6	102,6	72,5	76	97,9	410	508,05
Likasi	3317,8	2894,7	124,4	79,125	92,2	104,7	497,7	522,7
Moyenne	3189,76	2849,41	119,51	83,23	85,62	74,41	484,93	499,65

Le Tableau VIII montre que les apports alimentaires étaient inférieurs aux besoins.

Tableau IX. Déficit alimentaire en fonction des axes

AXES	Kcal	Protéines(g)	Lipides(g)	Glucides(g)
Kipopo	-5,7	-37,3	-15,8	-3,6
Rwashi	-7,8	-37,4	-64,3	+11,7
Kasumbalesa	-22,2	-37,7	-17,9	+2,8
Kasenga	-23,4	-25,5	-10,8	-20,4
Kafubu	+9,9	-29,7	+28	+23,9
Likasi	-12,7	-37,6	+13,5	+5,02
Moyenne	-10,3	-34,2	-11,2	3,2

En moyenne, les transporteurs de charbon de bois avaient des déficits en kcal, en protéines et en Lipides avec des valeurs moyennes respectives de -10,3 ; -34,2 et -11,2. Les glucides étaient excédentaires en moyenne de +3,2. En termes d'axe, l'axe Kafubu n'avait pas de déficit. Leur alimentation paraissait équilibrée (Tableau IX).

Tableau X : Autres activités pratiquées par les transporteurs de braise.

Activités	Fréquences	%
Agriculture	54	26.2
Carrière	12	5.8
Briqueterie	9	4.4
Commerce	19	9.2
Maçonnerie	8	3.9
Receveur	13	6.3

Ce tableau attire notre attention sur le fait que seuls 115 transporteurs pratiquent d'autres activités soit 55.8% sur un effectif de 206.

3.2 DISCUSSION

Les données ci-haut présentées appellent les interprétations suivantes :

Sur le plan sociodémographique

L'axe principal d'approvisionnement par vélo en charbon de bois était KIPOPO avec une représentativité de 33% de l'effectif total. Ces résultats sont différents de ceux trouvés par TREFLON et al, (4). Ces derniers avaient démontré que l'axe principal d'approvisionnement par camion était KASENGA. Cette différence de résultats trouvée pourrait être expliquée par l'état de la route et le moyen de transport utilisé. En effet, la route Kipopo se trouve dans un état de délabrement avancé ne permettant pas la circulation aisée des véhicules.

Les transporteurs de charbon de bois sont jeunes pour la plus part avec un âge moyen de 32 ans, mariés, responsables d'une famille de ± 4 enfants. L'expérience professionnelle était en moyenne de 4 ans, faisant en moyenne une course par jour. Ce profil sociodémographique des transporteurs de braises à vélo est typique d'une activité professionnelle par défaut pour subvenir aux besoins de la famille.

Paramètres anthropométriques

L'évaluation de l'état nutritionnel des transporteurs à vélo du charbon de bois a montré qu'ils ont en majorité un état nutritionnel normal tel que défini par l'OMS soit un IMC de 21 Kg/m^2 en moyenne sans différence significative entre les axes d'approvisionnement. Cette valeur se trouve dans les normes des hommes à carrure étroite selon DERRICK B. et JELLIFFE [7]. Par ailleurs, ces résultats sont similaires, à ceux trouvés par MUPENDA [8] concernant l'état nutritionnel et des travailleurs de force, dans la commune de Kasavubu à Kinshasa

Les pathologies

Les résultats obtenus indiquent que la pathologie la plus fréquente était la lombalgie suivie des douleurs musculaires et l'hémorroïde avec respectivement 86.1 ; 84.1 et 33.3%.

Cela peut s'expliquer par la position assise et l'effort musculaire fourni pour faire avancer le vélo et la charge ainsi que la distance parcourue.

Ces résultats s'apparentent à ceux trouvés par MUPENDA [8]. Ces derniers avaient constaté que les affections et les symptômes couramment rencontrés chez les pousses-pousseurs à Kinshasa sont la douleur généralisée et articulaire.

Distance et poids transportés

La distance moyenne parcourue était de 86 km, avec un poids moyen équivalent de 102 kg correspondants à $\pm 3,1$ sacs. Cette longue distance parcourue pourrait s'expliquer par la déforestation faisant que la forêt s'éloigne de plus en plus des agglomérations. Faute de pouvoir effectuer plusieurs tours suite à la longueur de la distance, les transporteurs prennent le plus de poids possible.

Besoins et consommations alimentaires

De la considération des besoins théoriques journaliers en énergie et en nutriments ainsi que les apports journaliers, il se dégage un déficit énergétique de 10,3 Kcal, protéique de 34,2g lipidique de 11,2g et un excédent en glucides de 3.2gr.

Ces déficits et cet excédent sont liés au régime alimentaire du Lushois constitué d'aliments et des condiments contenant peu d'huile, peu de protéines et beaucoup de farineux (farine de maïs breakfast et la farine de maïs local) et de la non exploitation ou la méconnaissance par les transporteurs des notions de diététique. Comme l'indique le tableau VII, ce régime alimentaire est essentiellement composé de Haricots, de Riz, de poissons frais, de fufou à base de farine de maïs, d'huile.

Aucune ration spéciale pour travailleurs de force n'est envisagée.

De plus les transporteurs de charbon de bois en sus de cette activité effectuent d'autres travaux lourds consommateurs d'énergie comme illustré par le tableau X.

4 CONCLUSION

Les résultats de l'étude de l'alimentation et des dépenses énergétiques des transporteurs de charbon de bois de la ville de Lubumbashi montrent que l'âge moyen est de 32 ± 9 ans, le poids moyen de $57,9\pm 5,2$ kg, la taille moyenne de $1,56\pm 0,06$ m.

L'IMC de $21,8\text{Kg/m}^2$ semble normal, mais faible si l'on tient compte de la charge transportée (102 Kg) et de la distance parcourue (86,2 km).

Les apports alimentaires sont déficitaires. Cela étant, l'alimentation des transporteurs à vélo du charbon de bois à Lubumbashi n'est pas adéquate. De ce fait ils courent le danger de dénutrition.

REFERENCES

- [1] M.R. de Montalembert and J. Clement, "Disponibilités des bois de feu dans les pays en développement". Etudes FAO : FORETS, Rome 1983.
- [2] J. Schure, V. Ingram, C.M. Akalaku, "Bois énergie en RDC : Analyse de la filière des villes de Kinshasa et de Kisangani" Projet MAKALA/CIFOR Décembre 2011
- [3] C. Munkner, T. Bouquet, R. Muakana, "Elaboration du schéma d'approvisionnement durable en bois-énergie pour la ville de Lubumbashi (Katanga) "Programme Biodiversité et Forêts, 68p., 201
- [4] T. Trefon, T. Hendriks, N. Kabuyaya, B. Ngoy, "L'économie politique de la filière du charbon de bois à Kinshasa et à Lubumbashi" IOB- Working paper. 111p., 2010
- [5] M. Feinberg, J.C. Favier, J. Ireland- Ripert, "Répertoire général des aliments : tables de composition. " TEC- DOC Paris, 269 pages, 1991
- [6] C. Bruce, « Guide de Mesure des Indicateurs Anthropométriques », Food and Nutrition Technical Assistance Project Academy for Educational Development Washington, D.C., 110 pp, 2003.
- [7] B. Derrick, Jelliffe, "Appréciation de l'état nutritionnel dans la population (principalement par voie d'enquête dans le pays en développement) " Genèse, OMS, monographie n°53. 286 p, 1969
- [8] K. Mupenda, "État nutritionnel et couverture des besoins des travailleurs de force, dans la commune de Kasavubu", Revue des professionnels de santé de la RDC Vol II, n° 22. 1999.

Evaluation de la qualité hygiénique de quelques recettes antidiabétiques

[Assessment of hygienic quality of some antidiabetic recipes]

GBEKLEY Efui Holaly¹⁻², Soncy Kouassi¹, Karou Simplicie Damintoti¹⁻²⁻³, Djéri Bouraima¹, Agbodéka Kodjovi¹, Ameyapoh Blaise¹, Simpore Jacques²⁻³, de Souza Comlan Aristide¹, and Gbeassor Messanvi⁴

¹Ecole Supérieure des Techniques Biologiques et Alimentaires, Université de Lomé, Lomé, Togo

²Centre de Recherche de Biologie Moléculaire Pietro-Annigoni, Université de Ouagadougou, Ouagadougou, Burkina Faso

³Département de génétique, Université de Ouagadougou, Ouagadougou, Burkina Faso

⁴Faculté des sciences, Université de Lomé, Lomé, Togo

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

ABSTRACT: *Objectives of the study:* The Assessment of hygienic quality is an essential step in the production and marketing of traditional medicine products using plant species that constitute a vast reserve of active ingredients that can be used to cure many diseases. Our study had the objective to assess the hygienic quality of some herbal medicines in order to identify the microbiological risk associated with the consumption of these Togolese traditional medicine products sold on the markets of the municipality of Lomé and that treat the DS.

Materials and Methods: We collected 90 antidiabetic recipes sold in the maritime region. Search germ was made by routine standardized methods of the French Association for Standardization (AFNOR).

Results: Revenues are in the form of mixture containing honey, decoctions, tinctures of, charred, herbal teas, capsules. Decoctions represent 56.17% followed by followed tinctures (16.67%). The results of the study of the hygienic quality of herbal medicines indicate the presence of total bacteria, total coliform, yeast (*Candida albicans*) and fungi (*Aspergillus Niger*, *Aspergillus flavus*, *Mucor* sp. Et *Géothricum* sp.). The majority of these phytomédicaments are unfit for consumption because of the total germs that were more isolated.

Conclusion: The use of traditional herbal medicines therefore carries risks of toxiinfection for consumers. A greater awareness must be made to educate traditional healers and herbal medicines sellers on good hygiene practices, preparation and storage of their products.

KEYWORDS: Diabetes Mellitus (DM), herbal medicines, microbiological quality, bacteria, AFNOR, Togo.

RÉSUMÉ: *Objectifs de l'Etude:* L'Evaluation de la qualité hygiénique est une étape indispensable dans la fabrication et la commercialisation des produits de la médecine traditionnelle utilisant les espèces végétales qui constituent une vaste réserve de principes actifs pouvant être utilisés pour soigner de nombreuses pathologies. Notre étude a eu pour objectifs d'apprécier la qualité hygiénique de quelques phytomédicaments afin d'identifier le risque microbiologique lié à la consommation de ces produits de la médecine traditionnelle togolaise vendus sur les marchés de la commune de Lomé et qui traitent le DS.

Matériel et Méthode: Nous avons collecté 90 recettes antidiabétiques vendues dans la région maritime. La recherche de germes a été faite par les méthodes normalisées de routine de l'Association Française de Normalisation (AFNOR).

Résultats: Les recettes se présentent sous forme de mixture à base du miel, de décoctions, d'alcoolatures, de calcinés, de tisanes, de gélules. Les décoctions représentent 56.17% suivies des alcoolatures (16,67%). Les résultats de l'étude de la

qualité hygiénique des phytomédicaments indiquent la présence de germes totaux, de coliformes totaux, de levures (*Candida albicans*) et de moisissures (*Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Mucor sp.* et *Géothricum sp.*). La majorité de ces phytomédicaments sont impropres à la consommation à cause des germes totaux qui ont été les plus isolés.

Conclusion: L'utilisation des phytomédicaments traditionnels comporte donc des risques de toxiinfection pour les consommateurs. Une sensibilisation plus accrue doit être faite pour informer les tradithérapeutes et les vendeurs de phytomédicaments sur les bonnes pratiques d'hygiène, de préparation et de conservation de leurs produits.

MOTS-CLEFS: Diabète Sucré (DS), Phytomédicaments, Qualité microbiologique, germes, AFNOR, Togo.

1 INTRODUCTION

Les plantes médicinales constituent aujourd'hui un recours très efficace contre les maladies qui envahissent l'homme notamment les maladies non transmissibles reconnues en septembre 2011 lors de sa 66^{ème} assemblée générale par l'ONU comme un nouveau défi de la lutte pour l'amélioration de la santé mondiale [1], [2]. Ces plantes renferment des molécules ayant des potentialités anti-inflammatoires, anti-prolifératives, anti-oxydantes qui nous sont d'un apport très important ; tant pour notre mode de vie qui subit un changement profond du fait de l'industrialisation et de la modernisation des villes: diète non équilibrée (habitude alimentaire riche en sel et en matières grasses, mais pauvre en fruits et légumes), stress, diminution de l'activité physique (sédentarité) du fait d'activités professionnelles plus sédentaires [2] ; que dans la réduction de la morbidité et la mortalité liées aux maladies non transmissibles (maladies cardiovasculaires, le diabète, les cancers, l'obésité et les maladies respiratoires chroniques) [2].

Au Togo, sévit principalement deux maladies non transmissibles qui gangrènent la population : l'Hypertension artérielle et le Diabète, lesquelles ont des prévalences respectives de 19% et de 2,6% au sein de la population âgée de 15-64 ans avec une prévalence de l'HTA chez le diabétique était de 48,24% en 2008 [1]. Il s'agit d'un véritable problème de santé publique avec en toile de fonds, une prise en charge par la médecine moderne est très coûteuse et quelque fois inefficace.

Conscient de l'expansion de ces maladies, Conscient de la fréquence et pertinence des plantes, de nombreux travaux ont été effectués sur les plantes thérapeutiques utilisées dans le traitement du diabète [3] ; ces études menées dans le cadre de trouver des remèdes plus efficaces avec des rendements meilleurs pour le traitement des maladies, conformément à la résolution de l'OMS (AFR/RC50/R3 du 31 août 2000) qui encourage les pays africains à valoriser les acquis de leurs patrimoines médicinaux et de promouvoir leurs utilisations optimales dans les systèmes de prestation des soins de santé.

Ces études menées ont permis de recenser un certain nombre de phytomédicaments à activités antioxydantes et à fortes potentialités antidiabétiques.

Des études ont été menées, en ce sens et qui ont révélé la présence de microorganismes dans ces préparations [3] ; [4].

Normalement ces plantes utilisées sous différentes formes galéniques par les professionnels de la médecine traditionnelle, doivent être exemptes de toutes formes de contamination afin qu'elles n'engendrent pas d'autres affections tout en combattant d'autres. En ce sens, nous avons entrepris cette étude sur les bonnes pratiques d'hygiène, de préparation et de conservation des phytomédicaments afin d'éviter de nouvelles contaminations pendant le traitement avec pour objectif principal : Evaluer la qualité microbiologique et les risques de contamination microbiologique des Phytomédicaments par rapport à la santé du consommateur.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 CADRE D'ÉTUDE

La présente étude a été précisément réalisée dans la région maritime et la commune de Lomé au Togo subdivisée en 5 districts sanitaires. La commune de Lomé a connu depuis sa création une extension vertigineuse ; aujourd'hui elle est délimitée par les quartiers Agoe et Kegue au Nord, l'océan Atlantique au Sud, la Raffinerie de pétrole et le quartier Kangnikopé à l'Est, et par la frontière Togo-Ghana et le quartier Adidogomé à l'ouest. L'agglomération s'étale sur une superficie de 333 km² dont 30 km² dans la zone lagunaire (www.voyages-tourisme.com/voyage-togo/carte-plan-lome.htm et Togo Google Maps, 16 Juin 2016 /6h00).

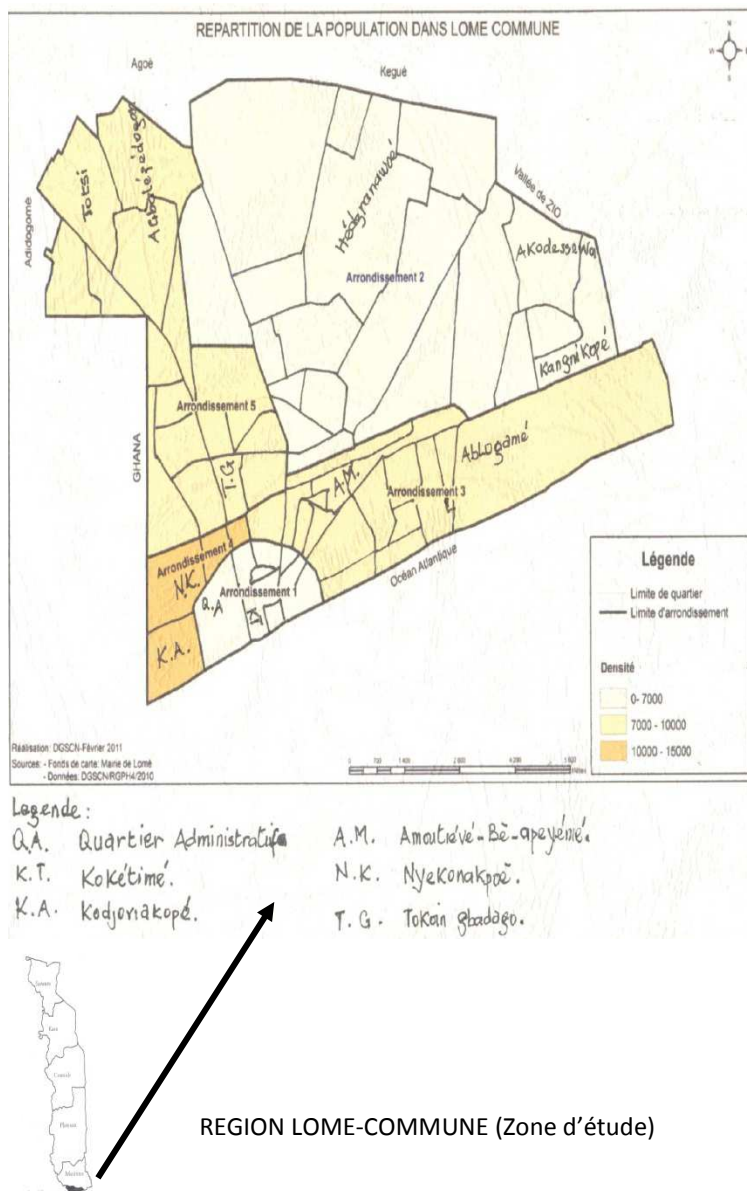


Fig 1 : Carte géographique de la région Lomé-commune

2.2 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

Les phytomédicaments analysés ont été achetés sur les marchés des cinq districts tout en considérant la démographie, les facteurs environnementaux (salubrité). Il s'agit des recettes traditionnelles toutes faites et mises à la disposition de la population Togolaise dans le but de traiter le diabète.

2.3 MATÉRIEL TECHNIQUE

Les analyses ont été faites entre 0 et 15 jours après l'achat ou la préparation du produit au Centre de Recherche et de Formation sur les Plantes Médicinales (CERFOPLAM) de l'Université de Lomé, spécialement au Laboratoire de Microbiologie et de Contrôle de Qualité des Denrées Alimentaires (LAMICODA) de l'École Supérieure des Techniques Biologiques et Alimentaires de l'Université de Lomé (ESTBA/UL). Tout le matériel (appareillage du laboratoire, milieux de culture et réactifs) utilisé dans notre étude est celui utilisé à LAMICODA ; il provient de la maison de vente de matériel biologique Bio-Rad en France. Pour la réalisation de nos travaux, les données recensées sur les formes galéniques ont été enregistrées sur les fiches techniques conçues à cet effet. Les données recueillies sur les résultats de recherches de germes indicateurs d'intoxication

alimentaires et/ou les germes d'indicateurs de conditions de manque des règles d'hygiène (Nombre de germes, types de germes, et le taux de contaminations du produit) ont été enregistrée sur les fiches techniques.

Tableau 1 : Présentation des marchés suivant les districts, ayant servi de cadre pour les prélèvements

N°	Districts	District 1	District 2	District 3	District 4	District 5	Région Maritime
	Lieux de prélèvements	Quartier administrative de lomé Kokétimé Adawlato-Atikpodzi	Hedzranawoe- Atiegou Akodessewa Kangnikopé Bè-Kpota	Amoutiévé– Bè Apeyeme Ablogamé Zone Portuaire de lomé	Kodjoviakopé Nyekonakpoé Hanoukopé	Adidogomé- Totsi-Avédji- Agbalepedogan- Kégue Tokoin gbadago	Adidogomé- Zanguera Agoe- Togbekope Tsévié- Adétikopé Aného- Hilakondji, Togovile-Vogan,

Rappelons que CERFOPLAM est une institution universitaire qui s'est engagée dans des actions de sensibilisation, d'information et de formation sur les bonnes pratiques d'hygiène, de préparation et de conservation des phytomédicaments à l'endroit des scientifiques, des coopératives, associations et ONGs.

2.4 MÉTHODE

2.4.1 ANALYSE DE LA QUALITÉ HYGIÉNIQUE DES PHYTOMÉDICAMENTS

Les phytomédicaments analysés ont été achetés sur les marchés de la commune de Lomé repérés d'avance. Un entretien a été fait avec les vendeurs des phytomédicaments sur le diagramme de préparation de ces phytomédicaments et les indications thérapeutiques des phytomédicaments. Ces informations ont été notées sur la fiche d'enquête constituée à cet effet. Le travail au laboratoire a été fait en trois étapes (Préanalytique, analytique et Postanalytique).

Phase Pré-analytique :

Quatre vingt-dix (90) recettes traditionnelles ont été recueillies auprès des tradipraticiens et des revendeuses et ont été codifiées clairement dans des flacons et convoyées, dans les meilleures conditions, au laboratoire pour y être analysées.

Phase analytique : Recherche et dénombrement des germes

La recherche de germes pour évaluer la qualité Hygiénique des Phytomédicaments a été faite par les méthodes normalisées de routine de l'Association Française de Normalisation (AFNOR) et adoptées au sein des pays de l'UEMOA : Arrêté du 21 décembre 1979 [6].

Préparation de la solution mère

Dans les conditions aseptiques, 10 ml (pour les recettes liquides) et 10 grammes (pour les recettes solides) de chaque échantillon de recette ont été pesés et dissous dans 90ml de solution Tryptone Sel ou de l'eau distillée stérile. La solution ainsi obtenue correspond à une dilution au 1/10, soit D_1 (10^{-1}) et constitue la solution mère. Cette étape de revivification permet la régénérescence des micro-organismes en vie ralentie stressés par le changement de milieu. A partir de D_1 , une série de dilutions allant de 10^{-1} à 10^{-5} a été effectuée dans des tubes à essai contenant chacun 9 ml d'eau peptonnée (EP). La solution mère ou ses dilutions permettent l'ensemencement des milieux de cultures spécifiques en vue de l'isolement et de la numération des germes recherchés. L'ensemencement a été fait dans des boîtes en positions renversées (couvercles vers le bas) pour éviter la confluence des colonies superficielles du fait de l'eau de condensation sur le couvercle ; et à une température spécifique au milieu de vie des germes recherchés.

A la lecture, le chiffre trouvé est multiplié par le facteur de dilution

Recherche des germes et méthodes d'Analyses

Les germes sont recherchés suivant des méthodes d'analyses en vigueur à LAMICODA :

La flore aérobie mésophile ou germes totaux ont été dénombrés sur milieu Plate Count Agar (PCA) à 30°C pendant 72h (Méthode de référence NF V08-051 Février 1999).

Les coliformes totaux ont été dénombrés sur gélose Violet de cristal, Rouge neutre Bile Lactose (VRBL) à 30°C pendant 72h (méthode de référence NF V08-050 1999).

Les coliformes thermotolérants ont été dénombrés sur gélose (VRBL) à 44° C pendant 72h (méthode de référence NF V08-050 1999).

Les moisissures et les levures ont été dénombrées sur milieu Sabouraud + Chloramphénicol à 30° C pendant 72h (NF ISO7954 1988).

Les levures et moisissures souvent impliquées dans la détérioration des phytomédicaments ont été dénombrés bien que n'étant pas retenus par les critères.

Tableau 2 : Critères microbiologiques pour les plats cuisinés en nombre de UFC/g ou /ml

Germes recherchés	Plats cuisinés / arrêté du 21/12/79
Germes totaux 30°C	300000
Coliformes totaux 30°C	1000
Coliformes thermotolérants -44 °c	10
Anaérobies sulfite-réducteurs	30
Staphylococcus aureus	100
Levures et moisissures	NC
salmonelles / 25g ou ml	Absence

Les Salmonelles ont été recherchées selon la Méthode référencée NF V08-052, 1997. Le préenrichissement est réalisé dans de l'Eau Peptonnée Tamponnée à 37°C pendant 24h. L'enrichissement est réalisé dans le milieu Rappaport à 44° C pendant 24h.

Le test de Catalase a été réalisé par addition de peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée) sur une colonie identifiée. Le test d'oxydase a été effectué par des disques commercialisés par BioRad (France).

Deux (2) techniques d'ensemencement ont été utilisées pour dénombrer les germes : l'ensemencement dans la masse et l'ensemencement en milieu liquide. L'ensemencement dans la masse a été utilisé pour la flore aérobie totale, les coliformes totaux et thermotolérants puis les levures et moisissures. L'ensemencement en milieu liquide a été utilisé pour les salmonelles.

Dans l'ensemble, seules les boîtes de Pétri de même dilution et dont le nombre de colonies est compris entre 30 et 300 ont été retenues pour le dénombrement des germes. Une moyenne des deux ensemencements est effectuée puis le résultat est multiplié par le facteur de dilution.

Phase Post analytique : Interprétation Des Résultats

Nos résultats ont été interprétés par rapport aux critères des normes d'AFNOR retenus pour les phytomédicaments (AFNOR, 2009).

VRBL = Gélose au cristal violet , au rouge neutre, à la bile et au Lactose

EPT = Eau peptonnée tamponnée

2.5 ANALYSES DES DONNÉES, ANALYSE STATISTIQUE ET EXPRESSION DES RÉSULTATS

Les données recueillies à la suite des enquêtes ont été traitées en utilisant le logiciel tableur Excel 2010.

2.5.1 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Nos résultats sont interprétés par rapport aux critères des normes de l'association Française de normalisation (Afnor) retenus pour les plats cuisinés (Arrêté du 21 décembre 1979) [6].

2.5.2 ANALYSES STATISTIQUES DES RÉSULTATS

Les résultats sont analysés statistiquement par Anova et nous avons calculé le degré de significativité p en exploitant les logiciels excel 2007 et epi info 6.04 fr avril 2001. Le coefficient de corrélation des contaminations entre les districts a été calculé par la méthode de Pearson. Les valeurs de $P < 0.05$ sont considérées comme significatives.

2.5.3 EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES PAR RAPPORT A LA CONTAMINATION DES ALIMENTS PAR LES GERMES TOTAUX !

La valeur seuil admise par les critères était $m = 300.000$ ufc/g. en tenant compte de la variabilité liée à la nature du milieu de culture, il était défini une valeur $3m$ au-delà de laquelle tous les résultats ont été considérés comme non satisfaisant.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 FORMULATIONS GALÉNIQUES DES PHYTOMÉDICAMENTS COLLECTÉES

Nous avons collecté 90 recettes antidiabétiques vendues dans 16 marchés et certains points de vente de la commune de Iomé. Les recettes se présentent sous forme de mixture à base du miel, de décoctions, d'alcoolatures, de calcinés, de tisanes, de gélules. Les décoctions (56,67%) et les alcoolatures (16,67%) sont les différents modes de préparation pour le DS ; Les feuilles (43,33%) et la plante entière (16,67%) sont plus utilisées pour soigner le DS (tableau 2). Pour toutes les recettes, il existe deux voies d'administration : la voie orale majoritairement et le bain (tableau 2).

PRÉSENTATION DES RECETTES RÉPERTORIÉES

Tableau 3 : Présentation des recettes répertoriées

Recettes		DS	
		N	%
Modes de préparation	Alcoolatures	15	16,67%
	Décoctions	51	56,67%
	Infusions	6	6,67%
	Mixtures à base du miel	6	6,67%
	Poudres en gélules	6	6,67%
	Poudres noires	6	6,67%
			0,00%
Voies d'administration	Bain	3	3,33%
	Orale	87	96,67%
			0,00%
			0,00%
Parties des plantes utilisées	Bractées	0	0,00%
			0,00%
	Bulbes	9	10,00%
	Corolles	0	0,00%
			0,00%
	Ecorces	3	3,33%
			0,00%
	Feuilles	39	43,33%
			0,00%
	Fruits	3	3,33%
			0,00%
	Graines	9	10,00%
			0,00%
	Grains	3	3,33%
			0,00%
	Jeunes pousses de feuilles	3	3,33%
			0,00%
	Pistils	0	0,00%
			0,00%
	Plantes entières	15	16,67%
		0,00%	
Racines	6	6,67%	
Tiges feuillées	0	0,00%	
		0,00%	
Zestes	0	0,00%	
total		90	

3.2 DIAGRAMME DE FABRICATION DES PHYTOMÉDICAMENTS

Selon les renseignements recueillis chez les fournisseurs de médicaments, le diagramme de fabrication de ces produits est identique à celui décrit par de Souza et *al.* (2010). D'une façon générale, les matières végétales sont recueillies dans les environs des habitations et identifiées par les guérisseurs ou les herboristes sur la base de leur propre expérience. Les échantillons prélevés ont été traités en 5 étapes : le nettoyage, le lavage, la coupe des matières végétales en petites tranches, le séchage des tranches ; après cette étape le traitement se différencie selon le type de phytomédicament ; les tranches séchées peuvent être directement utilisées comme tisane, mais pour les autres formulations (mixtures, poudres et gélules) les tranches séchées sont pilées dans un mortier ou écrasées sur une meule avant un traitement ultérieur ou encore torréfiées. Ce diagramme qui retrace les étapes de transformation de la matière brute végétale en phytomédicament obéit à

la règle des 5 M (matière première = matière végétale, main d'œuvre = population locale, matériel = rudimentaire, méthode = traditionnelle, matière fini = phytomédicament grossier) qui censure la transformation de la matière première en produit fini en biotechnologie alimentaire. Ce diagramme est presque identique à celle des méthodes chinoises et ayuverdiques.

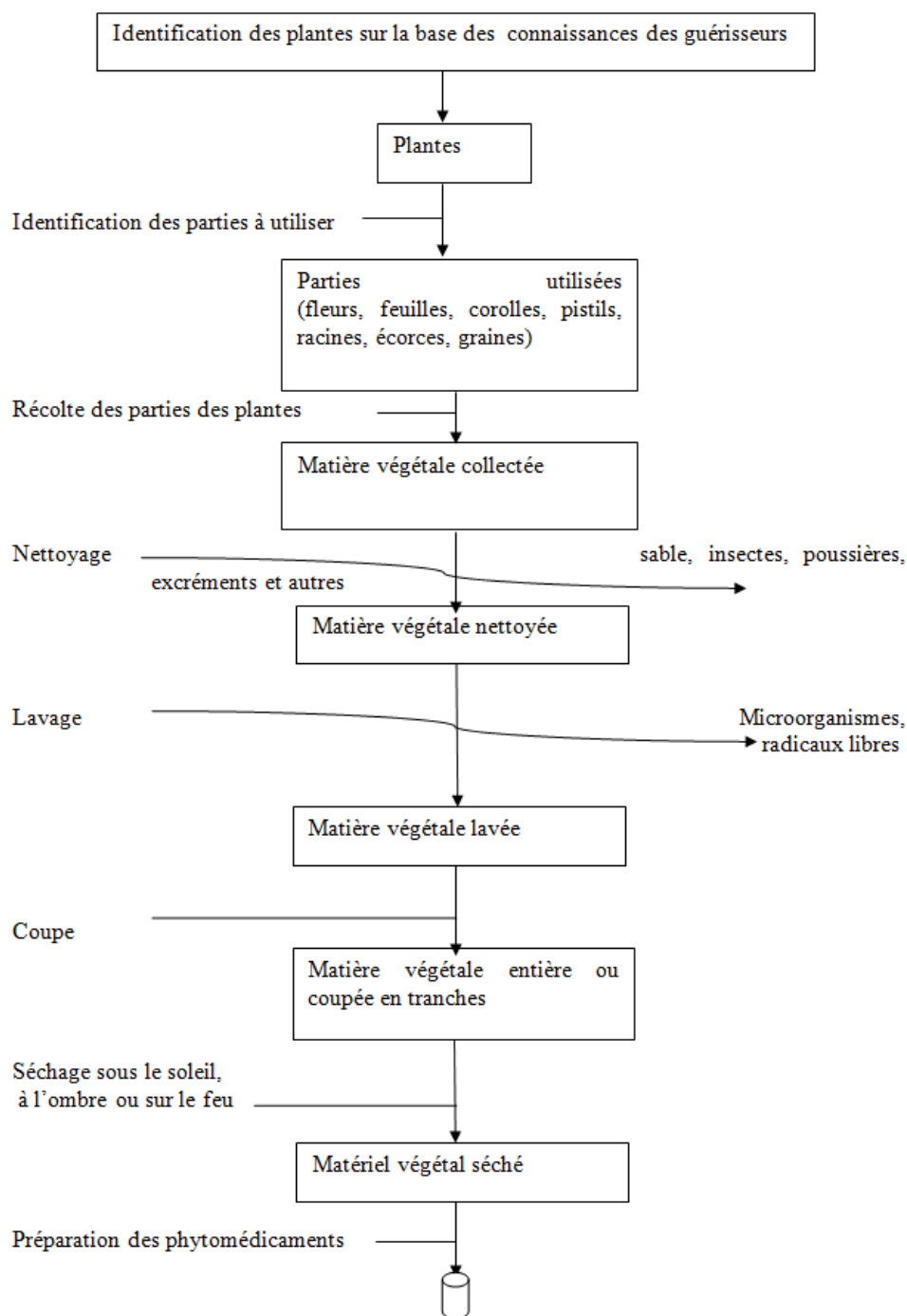


Figure 2 : Schéma du traitement de la matière végétale par les tradithérapeutes et les herboristes

3.3 ANALYSES MICROBIOLOGIQUES DES PHYTOMÉDICAMENTS

3.3.1 LES PHYTOMÉDICAMENTS ANALYSÉS

Les poudres en gélules

Les matières végétales broyées sont mélangées avec d'autres substances d'origine minérale ou animale et le mélange est ensuite manuellement mis dans des capsules ou directement conditionnés en bouteilles ou en sachets et prêts à l'emploi.

Les poudres noires (calcinées)

Les tranches sont calcinées dans une casserole (souvent en terre cuite) jusqu'à la torrification. La calcine est refroidie avec de l'alcool aspergé sur le produit ou de l'eau versée sous la casserole puis réduite en poudres dans un mortier ou sur une meule. Pour l'utilisation, les poudres calcinées sont réduites prises dans le "sodabi", liqueur locale fabriquée à partir du vin de palme.

Les mixtures à base du miel

Elles sont préparées en ajoutant de la poudre préparée directement sur le miel.

Les décoctions

Les tranches séchées de plante unique ou d'un mélange de plantes sont bouillies avec d'autres produits d'origine animale ou minérale. L'ébullition peut prendre 1 à 2 heures en fonction des produits incorporés. Après refroidissement à la température ambiante, le produit est emballé dans des bouteilles ou stockés dans des fûts.

Les alcoolatures

La liqueur locale fabriquée à partir du vin de palme souvent appelé "sodadi" est ajoutée aux tranches séchées dans des bouteilles. Il est conseillé de faire et de garder le mélange 15 jours avant l'utilisation afin que le principe actif soit bien déposé (solubilisé) dans l'alcool. .

Les tisanes

Les décoctions sont mixées avec du caramel ou du jus de fruits et disposées en bouteilles.

3.3.2 EVALUATION DE LA QUALITÉ HYGIÉNIQUE

La qualité microbiologique a été évaluée pour tous les 90 phytomédicaments collectés. Les micro-organismes suivants ont été recensés: les bactéries aérobies totales, les coliformes totaux, les anaérobies sulfite-réductrices, les moisissures et les levures ; ni les staphylocoques ni les salmonelles n'ont pas été isolés.

3.3.3 LES PHYTOMÉDICAMENTS ANTI-DIABÉTIQUES

Les décoctions

Tous les produits analysés ne contiennent pas de coliformes thermotolérants, d'anaérobies sulfite-réductrices, de *Staphylococcus aureus* ni de Salmonelles : ils sont donc de qualité hygiénique satisfaisante par rapport à ces germes. Nous avons (42) et (31) produits qui contiennent pas respectivement de moisissures et de levures. Tous contiennent des germes totaux et des coliformes totaux. Le tableau 6 illustre les résultats obtenus.

Les mixtures à base du miel

Toutes les mixtures à base du miel analysées ne renferment aucun des germes recherchés. Ils sont donc d'une bonne qualité hygiénique. Le tableau 6 illustre les résultats obtenus.

Les alcoolatures

Les alcoolatures analysées ne contiennent pas de coliformes thermotolérants ; pas d'anaérobies sulfite-réductrices, pas de *Staphylococcus aureus*, pas de moisissures ni de salmonelles : elles sont donc d'une qualité hygiénique satisfaisante par rapport à ces germes. Neuf (9), six (6) et douze (3) des produits analysés contiennent respectivement de germes totaux, de coliformes totaux et de levures. Ils ne sont donc pas de qualité hygiénique satisfaisante par rapport à ces germes.

Les poudres noires (calcinés)

Les poudres analysées ne contiennent pas de coliformes thermotolérants ; pas d'anaérobies sulfito-réductrices, pas de *Staphylococcus aureus* ni de salmonelles : elles sont donc d'une qualité hygiénique satisfaisante par rapport à ces germes. Les poudres contiennent tous les germes totaux, de coliformes totaux et levures ; une (1) poudre contient les moisissures.

Les gellules

Les gellules analysées ne contiennent pas de coliformes thermotolérants ; pas d'anaérobies sulfito-réductrices, pas de *Staphylococcus aureus*, pas de levures ni de salmonelles : elles sont donc d'une qualité hygiénique satisfaisante par rapport à ces germes. Les poudres contiennent tous les germes totaux, de coliformes totaux; une (1) poudre contient les moisissures.

Les tisanes

Les décoctions

Tous les produits analysés ne contiennent pas de coliformes thermotolérants, d'anaérobies sulfito-réductrices, de *Staphylococcus aureus* ni de Salmonelles : ils sont donc de qualité hygiénique satisfaisante par rapport à ces germes. Nous avons (4) et (5) produits qui contiennent pas respectivement de moisissures et de levures. Tous contiennent des germes totaux et des coliformes totaux.

Le tableau 4 illustre les résultats obtenus.

Tableau 4 : Dénombrement des germes des recettes antidiabétiques

	Germes isolés de 1ml ou 1g de recettes antidiabétiques analysées									
	N°	Code	GT	CT	Cth	ASR	Sa	Levures	Moisissures	Salmonella sp
Décoctions	1	ATG-D4	900000	330000	0	0	0	100	200	Absence
	2	AKD-D6	590000	400000	0	0	0	120	400	Absence
	3	BEA-D7	2090000	1250000	0	0	0	0	100	Absence
	4	BEA-D8	2820000	2660000	0	0	0	300	0	Absence
	5	ATD-D10	240000	140000	0	0	0	14000	0	Absence
	6	HED-D3	380000	200000	0	0	0	2400	2200	Absence
	7	ATG-D4	910000	330000	0	0	0	100	200	Absence
	8	AKD-D6	600000	400000	0	0	0	120	400	Absence
	9	HED-D3	360000	200000	0	0	0	2100	2100	Absence
	10	ATG-D4	900000	330000	0	0	0	100	200	Absence
	11	AKD-D6	590000	400000	0	0	0	120	400	Absence
	12	BEA-D7	2090000	1250000	0	0	0	0	100	Absence
	13	BEA-D8	2820000	2660000	0	0	0	300	0	Absence
	14	ATD-D10	240000	140000	0	0	0	14000	0	Absence
	15	GBO-D1	242000	100800	0	0	0	0	0	Absence
	16	HED-D2	432000	106000	0	0	0	3900	0	Absence
	17	HED-D5	140000	100000	0	0	0	600	8800	Absence
	18	ATD-D9	180000	152000	0	0	0	100	0	Absence
	19	AKD-D6	570000	410000	0	0	0	120	400	Absence
	20	BEA-D7	2110000	1350000	0	0	0	0	100	Absence
	21	BEA-D8	2820000	2660000	0	0	0	300	0	Absence
	22	ATD-D10	243000	147000	0	0	0	16000	0	Absence
	23	HED-D3	360000	200000	0	0	0	2200	2100	Absence
	24	ATG-D4	900000	330000	0	0	0	100	200	Absence
	25	AKD-D6	590000	410000	0	0	0	120	400	Absence
	26	BEA-D7	2090000	1250000	0	0	0	0	100	Absence
	27	BEA-D8	2870000	2660000	0	0	0	300	0	Absence
	28	ATD-D10	242000	141000	0	0	0	12000	0	Absence
	29	HED-D3	360000	200000	0	0	0	2100	2100	Absence

	30	ATG-D4	900000	330000	0	0	0	100	200	Absence
	31	AKD-D6	590000	400000	0	0	0	120	400	Absence
	32	BEA-D7	2090000	1250000	0	0	0	0	100	Absence
	33	BEA-D8	2820000	2660000	0	0	0	300	0	Absence
	34	ATD-D10	240000	140000	0	0	0	14000	0	Absence
	35	GBO-D1	22200	18000	0	0	0	0	0	Absence
	36	HED-D2	43100	16000	0	0	0	3900	0	Absence
	37	HED-D5	40000	1000	0	0	0	600	8800	Absence
	38	ATD-D9	16000	15000	0	0	0	100	0	Absence
	39	ATG-D4	890000	310000	0	0	0	100	200	Absence
	40	AKD-D6	490000	290000	0	0	0	120	400	Absence
	41	BEA-D7	1790000	1150000	0	0	0	0	100	Absence
	42	BEA-D8	2420000	2760000	0	0	0	300	0	Absence
	43	ATD-D10	120000	110000	0	0	0	14000	0	Absence
	44	HED-D3	350000	201000	0	0	0	2400	2200	Absence
	45	ATG-D4	790000	330000	0	0	0	100	200	Absence
	46	AKD-D6	490000	400000	0	0	0	120	400	Absence
	47	BEA-D7	2090000	1530000	0	0	0	0	100	Absence
	48	BEA-D8	2790000	2660000	0	0	0	300	0	Absence
	49	ATD-D10	241000	157000	0	0	0	16000	0	Absence
	50	HED-D3	360000	200000	0	0	0	2200	2100	Absence
	51	ATG-D4	810000	210000	0	0	0	100	200	Absence
moyenne		HED-D4	981790,196	706760,78	0	0	0	2479,6078	703,92157	Absence
ecart-type		ATG-D5	939911,453	880666,74	0	0	0	4875,3133	1781,0065	Absence

Légende GT : Germes Totaux ; CT : Coliformes Totaux ; CTh : Coliformes Thermotolérants ; ASR : Anaérobies Sulfitoréducteurs ; Sa : Staphylococcus aureus

Tableau 5 : Présentation des taux de non-conformité des phytomédicaments analysés

types de produits et non conformités	Code	GT	CT	CTh	ASR	Sa	Levures	Moisissures	Salmonelles
Décoctions	51	51	51	0	0	0	42	31	0
taux de non-conformité		100%	100%	0%	0%	0%	82%	61%	0%
Poudres mixé avec du miel	6	0	0	0	0	0	0	0	0
taux de non-conformité		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
tisanes	6	6	6	0	0	0	4	5	0
taux de non-conformité		100%	100%	0%	0%	0%	67%	83%	0%
Alcoolatures	15	9	6	0	0	0	3	0	0
taux de non-conformité		60%	40%	0%	0%	0%	20%	0%	0%
Gélules	6	6	6	0	0	0	0	1	0
taux de non-conformité		100%	100%	0%	0%	0%	0%	17%	0%
Calcinés	6	6	6	0	0	0	6	1	0
taux de non-conformité		100%	100%	0%	0%	0%	100%	17%	0%

Tableau 6 : Dénombrement des germes des recettes antidiabétiques (suite)

alcoolatures	Germes isolés de 1ml ou 1g de recettes antidiabétiques analysées									
	N°	Code	GT	CT	Cth	ASR	Sa	Levures	Moisissures	Salmonella sp
	1	GBO-A1	37900	12000	0	0	0	15200	0	Absence
	2	HED-A0	10000	5300	0	0	0	0	0	Absence
	3	WUT-A1	0	0	0	0	0	0	0	Absence
	4	KOD-A2	0	0	0	0	0	0	0	Absence
	5	BEA-A3	40000	0	0	0	0	0	0	Absence
	6	GBO-A0	37500	15000	0	0	0	14200	0	Absence
	7	HED-A1	12000	3500	0	0	0	0	0	Absence
	8	WUT-A2	0	0	0	0	0	0	0	Absence
	9	KOD-A3	0	0	0	0	0	0	0	Absence
	10	BEA-A4	44000	0	0	0	0	0	0	Absence
	11	GBO-A1	37100	9000	0	0	0	13200	0	Absence
	12	HED-A2	11000	6300	0	0	0	0	0	Absence
	13	WUT-A3	0	0	0	0	0	0	0	Absence
	14	KOD-A4	0	0	0	0	0	0	0	Absence
	15	BEA-A5	38000	0	0	0	0	0	0	Absence
moyenne			17833,3333	3406,66667	0	0	0	2840	0	
écart type			18504,1565	5042,31617	0	0	0	5891,49508	0	

Tableau 7 : suite du tableau Dénombrement des germes des recettes anti diabétiques

tisanes	Germes isolés de 1ml ou 1g de recettes antidiabétiques analysées									
	N°	Code	GT	CT	Cth	ASR	Sa	Levures	Moisissures	Salmonella sp
	1	AKD-D6	117000	410000	0	0	0	120	400	Absence
	2	BEA-D7	2010000	1250000	0	0	0	0	100	Absence
	3	ATG-D4	780000	270000	0	0	0	100	200	Absence
	4	AKD-D6	590000	400000	0	0	0	120	400	Absence
	5	BEA-D7	1690000	1240000	0	0	0	0	100	Absence
	6	BEA-D8	2520000	2670000	0	0	0	300	0	Absence
moyenne			1284500	1040000	0	0	0	107	200	
écart-type			929209,072	909989	0	0	0	110	167,332005	

Tableau 8 : Dénombrement des germes des recettes anti diabétiques (suite)

poudres mixées avec du miel	Germes isolés de 1ml ou 1g de recettes antidiabétiques analysées									
	N°	Code	GT	CT	Cth	ASR	Sa	Levures	Moisissures	Salmonella sp
	1	AGO-P3	0	0	0	0	0	0	0	Absence
	2	ATG-P4	0	0	0	0	0	0	0	Absence
	3	AGO-P4	0	0	0	0	0	0	0	Absence
	4	ATG-P5	0	0	0	0	0	0	0	Absence
	5	AGO-P5	0	0	0	0	0	0	0	Absence
	6	ATG-P6	0	0	0	0	0	0	0	Absence
moyenne			0	0	0	0	0	0	0	
écart-types			0	0	0	0	0	0	0	

Tableau 9 : Dénombrement des germes des recettes anti diabétiques (suite)

poudres noire	Germes isolés de 1ml ou 1g de recettes antidiabétiques analysées									
	N°	Code	GT	CT	Cth	ASR	Sa	Levures	Moisissures	Salmonella sp
	2	ATD-D10	230000	130000	0	0	0	14000	0	Absence
	3	ATD-D10	212000	141000	0	0	0	12000	0	Absence
	4	HED-D3	360000	130000	0	0	0	2100	2100	Absence
	6	HED-D2	143200	136000	0	0	0	3900	0	Absence
	3	KEG-G2	140000	122500	0	0	0	120	0	Absence
	4	KEG-G3	972000	750000	0	0	0	80	0	Absence
Moyenne			342867	234917	0	0	0	5367	350	Absence
écart-type			318430	252416	0	0	0	6113	857	Absence

Tableau 10 : Dénombrement des germes des recettes anti diabétiques (suite)

	Germes isolés de 1ml ou 1g de recettes antidiabétiques analysées									
	N°	Code	GT	CT	Cth	ASR	Sa	Levures	Moisissures	Salmonella sp
Gellules	1	HED-D2	43200	16000	0	0	0	3900	0	Absence
	2	ATG-G1	24300	300	0	0	0	200	0	Absence
	3	GBO-D1	2200	1800	0	0	0	0	0	Absence
	4	HED-D5	40000	100	0	0	0	600	8800	Absence
	5	ATD-D9	18000	15200	0	0	0	100	0	Absence
	6	ATG-G1	24300	300	0	0	0	200	0	Absence
moyenne			25333,3333							
écart-type			15002,622							

Tableau 11 : Présentation des taux de non-conformité des phytomédicaments analysés

types de produits et non conformités	Code	GT	CT	CTh	ASR	Sa	Levures	Moisissures	Salmonelles
Décoctions	51	51	51	0	0	0	42	31	0
taux de non-conformité		100%	100%	0%	0%	0%	82%	61%	0%
Poudres mixé avec du miel	6	0	0	0	0	0	0	0	0
taux de non-conformité		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
tisanes	6	6	6	0	0	0	4	5	0
taux de non-conformité		100%	100%	0%	0%	0%	67%	83%	0%
Alcoolatures	15	9	6	0	0	0	3	0	0
taux de non-conformité		60%	40%	0%	0%	0%	20%	0%	0%
Gélules	6	6	6	0	0	0	0	1	0
taux de non-conformité		100%	100%	0%	0%	0%	0%	17%	0%
Calcinés	6	6	6	0	0	0	6	1	0
taux de non-conformité		100%	100%	0%	0%	0%	100%	17%	0%

Les poudres mixées avec lme miel sont tous conformes aux normes en vigueur.

Les décoctions, les tisanes, les alcoolatures, les gélules et les calcinés sont non conformes selon les bactéries aérobies totales qu'elles contiennent respectivement à 100%, 100%, 60%, 100%,100%.

Les décoctions, les tisanes, les alcoolatures, les gélules et les calcinés sont non-conformes par rapport aux coliformes totaux respectivement à 100%, 100%, 40%, 100%,100%.

Les levures et les moisissures sont aussi des agents de non conformité des produits ; en effet, 82 % des décoctions, 67% des tisanes, 20% des alcoolatures, 100% des calcinés contiennent des levures. 61 % des décoctions, 83% des tisanes, 17% gélules, 17% des calcinés contiennent des moisissures.

4 DISCUSSION

Les recettes se présentent sous forme de mixture à base du miel, de décoctions, d'alcoolatures, de calcinés, de tisanes, de gélules. Les décoctions (56,67%) et les alcoolatures (16,67%) sont les différents modes de préparation pour le DS ; Les feuilles (43,33%) et la plante entière (16,67%) sont plus utilisées pour soigner le DS (tableau 2). Pour toutes les recettes, il existe deux voies d'administration : la voie orale majoritairement et le bain (tableau 2).

Les remèdes traditionnels vendus dans les marchés de la commune de Lomé sont contaminés par des pathogènes microbiens. Seuls les coliformes thermotolérants, *S. aureus* et les salmonelles n'ont pas été détectés dans les phytomédicaments. Nos résultats concordent avec ceux d'autres résultats antérieurs [4], [5]. La contamination des phytomédicaments par les agents pathogènes microbiens se produit essentiellement dans le processus de traitement ou pendant le stockage [4], [5].

Le procédé de fabrication de ces remèdes traditionnels expose les patients à trois risques majeurs: l'inefficacité du remède pour guérir la maladie, l'empoisonnement par un composé toxique se produisant dans les matières végétales et l'intoxication par les toxines microbiennes ou des micro-organismes qui se produisent dans de mauvaises conditions d'hygiène [7].

Beaucoup d'études ont été réalisées pour augmenter l'efficacité du remède et réduire la toxicité des composés des matières végétales par l'expérimentation des extraits et l'évaluation des activités biologiques in vitro ou sur des modèles animaux [4], [5], [8].

Le principal problème qui reste, demeure l'empoisonnement par les micro-organismes contaminant les produits végétaux par leurs toxines [4], [5].

Notons que l'intérêt de la détection de *S. aureus* relève de son implication dans les toxi-infections alimentaires [4], [5].

Les ASR sont un groupe de bactéries anaérobies sporulées dont *Clostridium sp.* ; leurs spores résistent après le traitement thermique et peuvent causer des dommages après la consommation des produits contaminés [4], [5]. Excepté les mixtures à base du miel, tous les phytomédicaments sont contaminés par des bactéries aérobies totales.

La contamination des décoctions par des coliformes totaux indique une contamination d'origine fécale, qui a eu lieu après la préparation puisque la décoction passe par une étape d'ébullition censée détruire les coliformes totaux. Une tentative d'explication est que certains tradithérapeutes préparent souvent les phytomédicaments dans de mauvaises conditions environnementales et de surcroît stockent leurs médicaments dans des bouteilles non stériles comme nous l'ont fait remarquer les travaux de recherches [4], [5]. Les gélules sont aussi contaminées par les coliformes totaux car le procédé de fabrication ne passe pas par une étape de chauffage.

Nos résultats indiquent que toutes les préparations ont été contaminées par des levures et des moisissures à l'exception des mixtures à base du miel. Les tests de filamentations pour les levures et la coloration au bleu de lactophénol pour les moisissures ont révélé qu'il s'agit essentiellement des levures (*Candida albicans*) et des moisissures (*Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Mucor sp.* et *Geothricum sp.*). Les levures et moisissures sont aussi présentes dans les phytomédicaments même chauffés car ils produisent des spores thermorésistantes qui survivent autrement thermique. Le principal risque est le fait que certaines souches de ces microorganismes peuvent élaborer des mycotoxines occasionnant un empoisonnement [4], [5].

5 CONCLUSION

L'objectif de notre étude a été d'apprécier la qualité hygiénique des phytomédicaments préparés. Une de ses insuffisances demeure la contamination des phytomédicaments par les microorganismes impliqués dans les toxi-infections alimentaires. Nous avons trouvé que les phytomédicaments testés sont contaminés par des micro-organismes qui affectent la qualité hygiénique et organoleptique. Il s'agit de la flore Mésophile totale (bacilles GRAM positifs à catalase positive et bacilles GRAM négatifs) ; des coliformes totaux (bacilles GRAM négatifs), des germes Anaérobies Sulfite-réducteurs (ASR) qui sont bacilles GRAM positifs, des levures (*Candida albicans*) et des moisissures (*Aspergillus niger* et *Aspergillus flavus*, *Mucor sp.*, *Geothricum sp.*). Le manque de contrôle de la qualité et de la réglementation sur la normalisation des phytomédicaments

peut au lieu de traiter la maladie, conduire plutôt dans un premier temps à des complications de la santé telles que les infections microbiennes, les toxi-infections alimentaires ou aux éventuels effets secondaires mortels à la suite d'une erreur d'identification de la matière végétale. La production des phytomédicaments doit donc respecter les bonnes pratiques d'hygiène en vue d'améliorer la qualité microbiologique car le but final est de mettre à la disposition de la population de la commune de Lomé voire du Togo, des phytomédicaments éthiques, efficaces pour combattre les deux pathologies qui gangrènent beaucoup de togolais. De notre étude il en ressort comme pour d'autres réalisées précédemment qu'il est plus rentable d'utiliser la matière végétale fraîche plutôt que la matière végétale sèche (la forme préférée par les guérisseurs traditionnels) car le procédé de stockage et de séchage peut alors affecter la composition chimique de la matière végétale sèche, sa contamination par les microorganismes et de surcroît entraîner des cas d'intoxication relevant des effets secondaires

Favoriser les échanges entre radiothérapeutes et les scientifiques pour une revalorisation de la pharmacopée Togolaise ; informer et former les radiothérapeutes sur les risques d'infections, de contaminations, d'intoxications alimentaires et inculquer aux radiothérapeutes les règles d'hygiène corporelle, vestimentaire qu'il faut observer au moment de la préparation, de l'embouteillage et de la conservation des phytomédicaments.

REFERENCES

- [1] Ministère de la santé-Togo/Programme National de lutte contre les Maladies non Transmissibles (PNLMNT-Togo)/Politique et Plan Stratégiques intégrées de lutte contre le Maladies non Transmissibles (PSIMNT) 2012-2015, (Juin 2012).
- [2] World Health Organization. World Non transmissible diseases Report: 2014. Geneva, Switzerland: WHO Press; 2014.
- [3] Tossou GM. Quelques aspects botaniques du prélèvement et de la commercialisation des plantes médicinales dans la ville de Lomé, Togo. Mémoire de DEA de Biologie Appliquée 1998 ; Université du Bénin, Togo 68p.
- [4] Djikpo-Tchibozo AM, Anani K, Ameyapoh Y, Toukourou F, de Souza C, Gbeassor M. Evaluation de la qualité hygiénique de six plantes médicinales et des phytomédicaments traditionnels. *Pharm Med Trad Afr*. 2001a;11:83–92.
- [5] Djikpo-Tchibozo AM, Anani K, Ameyapoh Y, Toukourou F, de Souza C, Gbeassor M. Evaluation des activités cytotoxique, antivirale, antibactérienne et antifongique de six plantes médicinales. *Pharm Med Trad Afr*. 2001b;11: 93–105.
- [6] AFNOR (Association Française de Normalisation) Normes Agroalimentaires. 2009, <http://www.afnor.org/secteurs/activite/agroalimentaire/normes/liste-des-norme>.
- [7] Fennell CW, Lindsey KL, McGaw LJ, et al. Assessing African medicinal plants for efficacy and safety: pharmacological screening and toxicology. *Journal of Ethnopharmacology*. 2004;94(2-3):205–217.
- [8] Ogwal-Okeng J.W., Obua C., Anokbonggo W.W. Acute toxicity effects of the methanolic extract of *Fagara zanthoxyloides* (Lam.) root-bark. *African Health Sciences*. 2003;3 (3):124–126.

Composés bioactifs isolés des plantes à propriété anti-diabétique: Revue de littérature

[Isolated bioactive plant compounds with anti-diabetic property: Review]

*GBEKLEY Efui Holaly¹⁻², Agbodeka Kodjovi¹, Karou Simplicie Damintoti¹⁻², Anani Kokou¹, Adjrah Yao¹, Toudji Gérard¹,
Ameypoh Blaise¹, Simpore Jacques²⁻³, and Gbeassor Messanvi⁴*

¹Ecole Supérieure des Techniques Biologiques et Alimentaires, Université de Lomé, Lomé, Togo

²Centre de Recherche de Biologie Moléculaire Pietro-Annigoni, Université de Ouagadougou, Ouagadougou, Burkina Faso

³Département de génétique, Université de Ouagadougou, Ouagadougou, Burkina Faso

⁴Faculté des sciences, Université de Lomé, Lomé, Togo

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

ABSTRACT: Diabetes (diabetes) is a disease (or rather syndrome) Endocrine most prevalent. It is estimated diabetics to more than 100 million worldwide and this figure and the percentage of the affected population are steadily increasing (around 6% in the "rich" countries). non-insulin-dependent diabetes (type 2, fatty diabetes or the elderly) that are revealed later and are balanced mostly by diet (slimming) calorie-low carbohydrate with or without associated medication (primarily sulfonylureas, the biguanides, insulin). It is the latter type of diabetes that seems constantly growing and can be treated by the phytothérapie. This review Reviews some of the shows and compounds isolated identified from the that previously demonstrated a hypoglycemic effect plants. These compounds have been classified in appropriate chemical groups and Reported data are on their pharmacological activity, mechanism of action and other properties. This paper reviews mucilage, glycans, proteins, pectins, flavonoids, steroids and triterpenoids, alkaloids, other nitrogen compounds and miscellaneous substances with hypoglycemic effect.

KEYWORDS: Hypoglycemic compounds, plants, chemical structures, diabetes mellitus, phototherapy.

RESUME: Le diabète (diabète) est une maladie (ou plutôt le syndrome) Endocrinien le plus répandue. On estime les diabétiques à plus de 100 millions dans le monde. Ce chiffre et le pourcentage de la population touchée sont en constante augmentation (environ 6% dans les pays «riches»). Le diabète non insulino-dépendant (type 2, le diabète gras ou le diabète des personnes âgées) est un diabète qui se révèle tardivement et qui est équilibré par essentiellement par le régime alimentaire (minceur) d'hydrate de carbone en calories faible, avec ou sans médicament associé (principalement les sulfonylurées, les biguanides, l'insuline). Il est le dernier type de diabète qui semble sans cesse croissante et peut être traitée par la phytothérapie. Cette synthèse présente les composés isolés et identifiés comme étant des hypoglycémisants. Ces composés ont été classés dans les groupes chimiques appropriés. Les données déclarées sont sur leur activité pharmacologique, le mécanisme d'action et d'autres propriétés. Cet article présente les mucilages, glycanes, les protéines, les pectines, les flavonoïdes, les stéroïdes et triterpénoïdes, les alcaloïdes, d'autres composés azotés et de substances diverses à effet hypoglycémique.

MOTS-CLEFS: composés hypoglycémiques, plantes, structures chimiques, diabète sucré, phytothérapie.

1 INTRODUCTION

Le diabète sucré est un trouble métabolique caractérisé par la présence d'une hyperglycémie attribuable à un défaut de la sécrétion d'insuline ou de l'action de l'insuline, ou des deux. L'hyperglycémie chronique liée au diabète est associée à des complications microvasculaires à long terme assez spécifiques touchant les yeux, les reins et les nerfs, ainsi qu'à un risque accru de maladie cardiovasculaire. Les critères diagnostiques du diabète sont fondés sur les seuils de glycémie associés aux maladies microvasculaires, la rétinopathie en particulier [1]. De son nom anglais diabetes mellitus (DM), il vient des mots grecs pour «flux» et «miel» et se réfère à l'excès du débit urinaire qui se produisent lorsque le diabète est non traité et que le sucre se retrouve dans l'urine; la maladie peut être définie comme étant un syndrome caractérisé par un état chronique d'hyperglycémie avec ses complications que sont l'infarctus du myocarde, les désordres cardiovasculaires et les néphrites terminales [2]. L'incidence de cette maladie se trouve dans 6% de la population du monde [3]. Longtemps le traitement du diabète sucré a été restreint au changement de régimes alimentaires, l'injection de l'insuline ou la prise des médicaments hypoglycémiques oraux. Certes ces traitements se sont révélés efficaces mais la mortalité n'a cessé d'augmenter [4], [5]. Dans nombre de cas, le taux de mortalité est dû au manque d'efficacité des molécules des produits utilisés pour le traitement du diabète [4]. Ce état de chose a conduit l'Organisation Mondiale de la santé à en faire un souci majeur de santé publique lors de la 66^{ème} assemblée des nations Unies en 2011 et a entraîné le recours à la médecine traditionnelle pour le traitement du diabète [4]. L'utilisation des plantes pour se soigner date de la préhistoire et tous les peuples sur tous les continents ont cette vieille tradition. On estime à environ 400 000 à 500 000 le nombre d'espèces végétales sur la surface de la terre. Ceci constitue un vaste réservoir de principes actifs pouvant être utilisés pour soigner de nombreuses pathologies quand on sait qu'une espèce végétale peut produire à elle seule des centaines voire des milliers de molécules différentes [6], [7], [8]. Dans les pays en développement qui ne bénéficient presque pas ou pas du tout des avancées technologiques de la médecine moderne et où les médicaments sont rares ou d'un coût relativement trop élevé, plus de 80 % de la population a exclusivement recours aux plantes pour les besoins de santé primaires [9], [10]. Dans les pays développés par contre, les populations sont surtout soucieuses des prescriptions abusives des médicaments tels que les anti-inflammatoires et les antibiotiques. Ceci a pour conséquence l'apparition des souches multirésistantes, ainsi beaucoup pratiquent de plus en plus une automédication à base de plantes [11]. En dehors de la fréquente pertinence de ces remèdes traditionnels, plus de 25 % des médicaments prescrits dans les pays industrialisés dérivent directement ou indirectement des plantes [12], mais en tant que sources de nouveaux principes actifs, les plantes sont peu exploitées lorsque l'on considère le fort pourcentage d'espèces végétales non encore étudiées soit pour leur composition chimique soit pour leurs propriétés pharmacologiques. On estime à environ 15 % le nombre de plantes qui ont fait l'objet d'une étude systématique en vue de la recherche de composés bioactifs [13]. De telles études permettent d'une part de vérifier l'efficacité de ces plantes et d'autre part elles peuvent aboutir à la découverte de nouveaux principes actifs. Ce qui répond bien aux besoins du moment. En effet, dans le contexte sanitaire actuel, il y a un besoin continu de nouvelles molécules pour soigner de nombreuses pathologies dont le diabète [4]. L'usage des plantes médicinales pour le traitement du diabète sucré, date des papyrus d'Ebers approximativement 1550 avant Jésus Christ. Une multitude d'herbes, d'épices et autres parties de la plante ont été décrites dans le traitement du diabète partout dans le monde [14]. Près de 1200 espèces de plantes sont utilisées en médecine populaire pour traiter le diabète [15]. Le diabète sucré est connu des acteurs de la médecine traditionnelle togolaise. Plusieurs plantes sont reconnues traditionnellement pour leurs propriétés antidiabétiques. Le traitement est basé sur l'utilisation des plantes sous forme de décoction, d'infusion, de calcinât, de pulvérisât etc. Les plantes sont utilisées seules ou en association synergétique avec d'autres plantes.

Ainsi, on peut citer :

Tableau 1 : quelques plantes utilisées dans le traitement du diabète sucré

Plantes	Travaux antérieurs
Acanthospermum hispidum DC.	
Ageratum conyzoides L.	[4]
Alchornea cordifolia (Schum. & Thonn.) Mull. Arg.	[4]
Annona muricata	[4], [19]
Bridelia ferruginea Benth.	[4], [19]
Catharanthus roseus (L.) G. Don	[16]
Chromolaena odorata	[17]
Conyza aegyptica (L.) Ait. var. lineariloba (DC) O. Hoffm.	[4]
Holarrhena floribunda (G. Don) Dur. Et Schinz var. floribunda	[4]
Hypoxis hemerocallidea (patate africaine)	[18]
Khayasenegalensis	[6]
Lactuca taraxacifolia (Wild) Schum.	[4]
Morinda lucida,	[16]
Nauclea latifolia	[19]
Ocimum gratissimum	[4]
Parkia biglobosa	[4]
Phyllanthus amarus	[4]
Phyllanthus amarus	[16]
Picralima nitida (Stapf) Th. et H. Dur.	[4]
Psidium guajava	[19]
Securidaca longepedunculata	[19]
Terminalia chebula	[4]
Tridax procumbens	[4]
Vernonia amygdalina del	[4]
Vernonia colorata (Willd) Drak	[4]
Vitex doniana Sweet	[4]

Des travaux plus récents ont montré que certains extraits présentent un effet hypoglycémiant (*Vernonia colorata*, *Zizyphus mauritania*) alors que d'autres extraits ont un effet anti-hyperglycémiant (*Anarcadium occidentale*, *Moringa oleifera*) sur des modèles d'hyperglycémies [17]. Nombreux sont les investigations qui ont pris un grand intérêt dans les plantes comme sources possibles pour les nouveaux agents hypoglycémiques et de nombreuses plantes ont déjà été examinées. Aujourd'hui, plus de 800 plantes ont été identifiées comme de potentiels médicaments antidiabétiques, mais seulement quelques-uns d'entre eux ont été évalués médicalement et scientifiquement pour déterminer leur efficacité [20], [21], [22], [23]. Il est donc important de connaître ces molécules qui sont de potentiels candidats à l'innovation de nouveaux produits antidiabétiques.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

Nous avons effectué une étude transversale, une revue documentaire sur le diabète, et les plantes qui traitent du diabète, évaluer l'arsenal thérapeutique utilisé contre le diabète, la caractérisation phytochimique des extraits de plantes, les purifications composés bioactifs ; les manifestations cliniques et les complications du diabète. Une recherche systématique a été réalisée dans la base de donnée Pub Med et Google scholar en utilisant les mots clés suivants : diabète; composés bioactifs, activité hypoglycémiantes, plantes médicinales.

3 RÉSULTATS

3.1 LES MUCILAGES

Les mucilages possédant une activité hypoglycémiante sont solubles dans l'eau et appartiennent à différentes familles des plantes.

Tableau 2 : les mucilages identifiés

Mucilages hypoglycémiants	plantes	parties des plantes
Abelmoschus-mucilage G	Abelmoschus glutinotextilis Kagawa (Malvaceae)	Racine
Abelmoschus-mucilage M	Abelmoschus manihot Medic (Malvaceae)	Racine
Althaea-mucilage O	Althaea officinalis L. (Malvaceae)	Racine
Althaea-mucilage OL	Althaea officinalis L. (Malvaceae)	Feuille
Althaea-mucilage R	Althaea rosea Cavailles (Malvaceae)	Racine
Bletilla-glucomannane	Bletilla striata Reich. (Archidaceae)	Tubercule
Dioscorea-mucilage B	Dioscorea batatas Decaisne (Dioscoreaceae)	Rhizophor
Glucomannan-mucilage	Hibiscus moscheuto L. (Malvaceae) Hibiscus L. (Malvaceae)	Racine
Hibiscus-mucilage Mo	Hibiscus syriacus L. (Malvaceae)	Feuille
Hibiscus-mucilage SL	Lilium auratum Lindl. (Liliacées)	bulbe
Lilium-A-Glucomannan	Lilium speciosum Thunb. (Liliacées)	bulbe
Lilium-S-Glucomannan	Lilium maculatum Thunb. (Liliacées)	bulbe
Lilium-J-Glucomannan	Lilium japonicum Thunb. (Liliacées)	bulbe
Lycoris-R-Glucomannan	Lycoris radiata Herbert (Amarylidaceae)	bulbe
Lycoris-S-Glucomannan	Lycoris squamigera Maxime. (Amarilidaceae)	bulbe
Narcissus-T-Glucomannan	Narcissus tazetta L. (Amarantaceae)	bulbe
Okra-mucilage F et Okramucilage R	Abelmoschus esculentus Moench (Malvaceae)	fruit immature et racine
Paniculatan	Hydrangea paniculata Sieb. (Saxifragaceae)	Écorce interne
Plantago-mucilage A	Plantago asiatica L. (Plantaginaceae)	La graine

Le tableau 1 présente les mucilages ayant une activité hypoglycémiante.

3.2 LES GLYCANES ET LES PROTEINES

Tableau 3 : les glycanes et les protéines ayant une activité hypoglycémiant

Hypoglycémique Agent Source	Plante	partie
Anemaran A, B, C et O	Anemarrhena asphodeloides Bunge (Liliacées)	Rhizome
Aconitan A, B, C et O	Aconitum Carmichaeli Deabux (Ranunculaceae)	Racine
Arborans A et B	Aloe arborescens Mill. (Liliacées)	Feuille
Atractans A, B et C	Atractylodes japonica Koidzumi (Composée)	Rhizome
Coixans A, B et C	Coix lachryma-jobi L. (Poaceae)	La graine
Dioscorans A, B, C, O, E, et F	Dioscorea [aponica Pouce. (Dioscoréacées) ; batatas Dioscorea (Dioscoreaceae). ;	Rhizophore
Eleutherans A, B, C, O, E, F et G ,	ococcus Eleutherisenticosus Maxim. (Araliaceae)	Fruit
Ephedrans A, B, C, D et E	Ephedra distachya L. (Ephedraceae)	Écorce
Ganoderan A, C Band	Ganoderma lucidum Karst. (Polyporacées)	Fruit
Hétéroglucane complexes	Chlorella vulgaris Chlorococcales (Chlorophytes)	Feuille
Moran A glycoprotéine	Marus alba L. (Moraceae)	L'écorce de racine
Lithospermans A, B et C	Lithospermum erythrorhizon Sieb. (Boraginaceae)	Les racines
Oryzarans A, B, C et D	Oryza sativa Bran. (Poaceae)	La graine
peptides	Centaurea aspera L. (Composée)	Une fleur
Pectine	Coccinia indica Wight. (Cucurbitaceae)	Fruit
Pectine	Musa sapientum L. Musa L. (Musaceae)	Fleurs
peptidoglycanes	Malva verticillata L. Emblic (Malvaceae)	Graines
Polypeptide	Panax ginseng Meyer (Araliaceae)	Racine
Polypeptide	Cystoseira barbata PCystoseiroceae (Rhodophyta)	Feuille
Polypeptide p-insuline	Momordica charantia L. (Cucurbitaceae)	Fruit, Graines
Protéines	Acacia milanoxylon Willd (Leguminosae) et Bauhinia retusa L. (Leguminosae)	Graines
Quinquefolans A, B et C	Panax quinquefolium L. (Araliaceae)	Les racines
Saccharans A, B, C, D, E, Saccharum officinarum Saccharans A, B, C, D, E, F L.	Saccharum officinarum Feuille (Poaceae)	Feuille
Trichosans A, B, C, D, Trichosanthes kirilowii Roots	Trichosanthes kirilowii Roots	Racine
Trichosans A, B, C, D, and E et E glycoside non caractérisés	Ficus bengalensis L. (Moraceae)	Feuille

3.3 LES FLAVONOÏDES

Tableau 4 : les flavonoïdes des plantes à activité hypoglycémiantes

Composés	Plantes	Parties des plantes
(-) - Épicatéchine	Pterocarpus marsupium Roxb. (Légumineuses e)	Écorce
Quercet dans	Baubiniapurpurea L. (Leguminosae)	Feuille
Kaempférol-Jo-rharnnoside; Quercétine-So-rhamnoside	ZizipbusrugosaLam. (Ranunculaceae)	Écorce
Kolaflavanone	Garcinia kola Accrocher F. (Guttiferae)	Feuille
Swertichirin	SwertiachirayitaRoxb. (Gentianaceae)	Feuille
Bellidifolin	SwertiajaponicaMakino (Gentianaceae)	Feuille
leucocyanidine	Ficus bengalensis L. (Moraceae)	Feuille

3.4 LES STÉROÏDES ET LES TRITERPÈNES

Tableau 5 : Les stéroïdes et triterpénoïdes

Composés	Plantes	Parties utilisées
Fagasterol	Phyllanthus emblica HBK (Euphorbiaceae)	Feuille
l'acidegymnémique	Gymnemasylvestre R. Br. (Asclepiadaceae)	Feuille
~ sitostérol	Coffea arabica L. (Rubiaceae)	vertes haricots
acétate lupéol	Phénixdactylifera L. (Palmales)	Feuille
L'acideoléanolique	Momordicacochinchinensis Sprengel (Cucurbitaceae) ; officinalis Comus Sieb. (Cornaceae)	Graines
sapogénol	Bumeliasartorum L. (Sapotaceae)	Racine ; Écorce
l'acide tormentique	PoteriumancistroidesDesf. (Rosaceae)	Feuille
Saccharol	Steviarebaudiana L. (Composées)	Feuille
triterpénoïdespolyhydroxylés	Eriobotryajaponica Linde (Rosaceae)	Feuille
glycoside	Xanthiumstrumarium L. (Composée)	Feuille
ginsenoside Rg2	Panax Ginseng Meyer (Araliaceae)	Feuille ;
Ursolicacid	ComusofficinalisSieb, (Cornaceae)	Seeds
Sitosterol- D-glucoside; 5,25 - Stigmastadienol-glucoside	Momordicacharantia L. (Cucurbitaceae)	Fruit

3.5 LES ALCALOÏDES ET LES COMPOSÉS AZOTÉS

Tableau 6 : les Alcaloïdes et les autres dérivés azotés

vicine	Momordicacharantia Linn (cucurbitacées)	Fruit
Tecomine; Tecostanine	Tecomastans HBK Tecoma de HBK (Bignoniaceae)	Feuille
vindoline; lochnérine; Catharanthine; leurosine; tétrahydroalstonine; vindolinine; vincamine; (-) Eburnamonine; morphine;	Catbarantbus roseus [L.] G. Don. (Apocynaceae)	plante entière
morphine; papavérine	Papaver somniferum L. (Papaveraceae)	Fruit
dioscorétine	Dioscorea Tubercules dumetorum Pax (Dioscoracées)	tubercules

cryogenine	Decodonverticillatus L. Elliot (Erytracées)	Feuille
Galegine	Galegaofficinalis L. (Leguminosae)	Graines
lépidine	Lepidiusrudérale L. (Crucifères)	Feuille
Lathyrine	Lathyrussaponica Sic. (Leguminosae)	Graines
	Capsicumannuum L. (Solanaceae)	Fruit
berbérine	Coptischinensis Fanch (Ranunculacées)	Feuille
Quinoléine-2-méthanol	Kitasatoagriseophaeus P	Feuille
Diphénylamine	Allium cepa L. (Liliacées)	bulbe
1-2 substitués pyrroliques et pyrimidines	Tinosporacordifolia Miers (Menispermaceae)	Feuille
Dérivés de guanidine	Ganodermalucidum Karst. (Polyporacées)	Fruit
théophylline	Camellia sinensis L.Kuntze (Théacées)	Feuille
Hypoglycine A; hypoglycine B	BlighiasapidaKoenig (Sapindaceae)	Fruit
castanospermine	Castanospermum A. Cunn australe (Fabaceae)	Feuille
Méthylencyclopropyl glycine	sinensis Litchi Sons (Sapindaceae)	La graine
Catharanthine; L'acide nicotinique ; Lupinidine; lupanine; coumarine; scopoletin;	Trigonellafoenumgraecum L. (Leguminosae) ;Lupinustermis L. (Leguminosae)	La graine

3.6 AUTRES COMPOSES ACTIFS SUR LE DIABETE :

Tableau 7 : Autres composés actifs sur le diabète

Composés	Plantes	Parties des plantes
Coyolose	Acrocomia mexicanaKarl (Palmae)	Racine
glycosides sesquiterpéniques	EriobotryaaponicaLinde (Rosaceae)	Feuille
gossypol	Gossypiumherbaceum(Malvaceae)	Fruit
myrtilline	Eucalyptus citriodoraHook (Myrtacées)	Feuille
Chromium, manganèse et des sels de magnésium	Atriplexhalimus L.(Chénopodiacées)	Feuille
Saudin	CluytiaRichardiana L.(Euphorbiaceae)	Feuille
forskoline	forskoliiColeus (Poir.)Briquet (Lamiaceae)	Feuille
S-allylcystéinesulfoxyde ; S-méthylcystéinesulfoxyde	Allium sativum L.(Liliacées)	Fruit

4 DISCUSSION

4.1 LES COMPOSES BIOACTIFS SUR LE DIABETE

Les plantes qui ont été étudiées peuvent être réparties en 2 catégories : la première catégorie est constituée des plantes dont l'activité hypoglycémiant a été démontré sur différents animal modèles mais dont les principes actifs n'ont pas été isolés et identifiés ; la seconde catégorie sont les plantes sur lesquelles des activités ont été menés et à partir duquel un agent hypoglycémiant a été identifié scientifiquement sans évaluation clinique [2]. Les principaux composés isolés à nos jours sont : les glycanes, protéines et les mucilages. D'autres composés identifiés sont les flavonoïdes, des stéroïdes, triterpénoïdes and alcaloïdes avec activité hypoglycémique [1], [6], [24], [25].

4.2 LES ALCALOÏDES

Plusieurs alcaloïdes ont été identifiés. Le nucléoside pyrimidique vicine entraîne une réponse hypoglycémiant chez le rat albinos mis à jeun normalement [26]. L'administration de la latecomine à des souris normales et hyperglycémique induit par alloxane provoque la réduction de la glycémie. L'utilisation traditionnelle de feuilles de *T. stans* pour le traitement du diabète s'explique par l'isolement de deux substances hypoglycémiques: tecomanine et tecostanine. La Tecominemontre une activité hypoglycémique sur des lapins à 20 mg/kg par voie intrapéritonéale et 50 mg/kg par voie orale. La Tecomine a montré une mauvaise stabilité et nécessite de grandes doses ; ceci remet en question son potentiel clinique [27]. *Catharanthus roseus* est un arbuste sauvage connu pour son activité antidiabétique et une source d'alcaloïdes utilisés dans le traitement du cancer et l'hypertension [28]. L'Activité hypoglycémique a été observée pour la catharanthine, leurosine, lochnérine, tétrahydroalstonine, vindoline et vindolinine. Administré par voie orale à une dose de 100 mg / kg, le sulfate de leurosine et de chlorhydrate de vindolinine sont plus hypoglycémiques que le tolbutamide [14]. L'effet hypoglycémiant de la morphine (40 mg) injectée par voie intrathécale a été étudié et comparé les effets d'autres agents hypoglycémians. Les effets hypoglycémiques de la morphine et de l'insuline semblent être dues en grande partie à une absorption accrue de glucose par le muscle [29]. La papaverine est un inhibiteur de la phosphodiesterase intracellulaire d'AMPc qui augmente en empêchant sa dégradation [30]. Dioscorétine, le principe hypoglycémiant de *D. dumetorum*, a été isolé par fractionnement de bioessai de l'extrait méthanolique du tubercule de *D. dumetorum* ; lorsqu'il est administré par voie intrapéritonéale à des lapins normaux et rendus diabétiques par l'alloxane, la Dioscorétine produit des effets hypoglycémiques à une dose de 20 mg / kg [2]. L'administration de la cryogenine à des souris normales et hyperglycémique induit par l'alloxane provoque une diminution de la glycémie. Ce composé a également anti - inflammatoire, sédatif avec des activités hypotenseurs [31].

L'effet hypoglycémiant de galegine (30 mg / kg) chez le rat rendu diabétique par l'alloxane a été démontrée. La DL₅₀ par voie orale de sulfate de galegine chez la souris était 0,122 g / kg [32]. La lépidine a montré des effets hypoglycémiques chez des souris et des lapins atteints de diabète chronique induit par l'alloxane-doux. Il a diminué glycosurie, la polydipsie et l'augmentation du glycogène dans le foie [33]. Les graines de *Lathyrus japonica* ont été considérées comme un moyen efficace de traiter le diabète en tant qu'un agent diabétique pendant de nombreuses années. Le taux de glucose sanguin chez des souris normales et diabétique par l'alloxane et traités avec Lathyryne et la gamma-L-glutamyl-L-lathyryne présentait une forte activité hypoglycémiant [34]. La capsaïcine inhibe le transport du glucose intestinal chez les rats et les hamsters. Cet effet peut être dû en partie à une plus grande dégradation métabolique du glucose en acide lactique ou à un effet inhibiteur secondaire sur la pompe de sodium ATPase dépendante [35]. La Berbérine a un effet hypoglycémiant sur des souris rendues diabétiques par l'alloxane. Elle diminue le taux de cholestérol au niveau de souris nourries avec un régime riche en cholestérol et inhibe l'ion agrégant des plaquettes de lapin in vitro [36], [37]. Deux constituants isolés des espèces de *Kitasatoagriseophaeus* ont été identifiés comme le quinoline-2-méthanol et quinoléine-2-méthanol acétate. Le premier a une activité hypoglycémiant sur les rats [38]. Les bulbes d'oignons ont longtemps été utilisés comme un supplément alimentaire dans le traitement traditionnel du diabète en Asie, en Europe et au Moyen - Orient [39]. Les oignons baissent la concentration d'acides gras libres dans le sang, ainsi le Diphénylamine a montré l'effet hypoglycémiant à une dose de 10 mg / kg sur des modèles animaux diabétiques. Il est un agent hypoglycémiant plus puissant que le tolbutamide [40]. [41], [42], [14]. Le 1,2-pyrrolidines substituées est isolé à partir de *T. cordifolia* Miers et des activités hypoglycémiantes et de dépresseur du système nerveux central du lapin [43], [44]. La Théophylline augmente le calcium extracellulaire et améliore la stimulation du couple Calcium-ATPases et réduit la glycogénolyse [30]. L'activité hypoglycémiant de L'hypoglycis, chez les rats rendus diabétiques par alloxane a montré que l'effet hypoglycémiant n'est pas médiée par une sécrétion accrue à l'insuline [45], [46], [47]. La Castanospermine, un alcaloïde isolé à partir de *Castanospermum australe*, est un inhibiteur de l'enzyme intestinale avec une activité hypoglycémiant [48]. Le Méthylencyclopropyl glycine a montré une activité hypoglycémique quand il a été administré aux rats diabétique par l'alloxane [48], [49]. Les seuls alcaloïdes actifs sur les rats non diabétiques sont l'acide nicotinique qui se comporte comme un médicament à action brève, et la coumarine, qui a exercé un effet de un peu prolongé ; toutefois, une activité hypoglycémique a été remarqué chez les rats normaux avec des doses élevées de scopolétine [50].

5 CONCLUSION

Le diabète est une maladie ancienne dont les symptômes classiques : faim et soif importante avec augmentation du volume d'urine, maigreur ou au contraire obésité, risque de coma, sont bien connus par la majorité des guérisseurs ou tradipraticiens ; de nombreuses plantes sont considérées traditionnellement comme antidiabétiques certaines sont à l'origine de la mise au point de médicaments ex : le biguanide metformine grâce au *Gallega officinalis*. Devant l'augmentation considérable du nombre de diabétiques dans les pays dont le " niveau de vie " s'améliore (ex Inde, Chine, sud-est asiatique, pourtour méditerranéen), de nombreux chercheurs ont évalué l'action pharmacologique de ces plantes traditionnelles et

donc leur intérêt en médecine quotidienne dans ces pays où les médicaments synthétiques sont malgré tout assez chers et où la tradition de médecine par les plantes est bien ancrée dans les mœurs (ex : au Maroc, une enquête dans un groupe de diabétiques (type 2) révèle que 25% n'utilisent que des plantes pour se soigner). Dans les pays « riches » où le traitement du diabète (insuline- médicaments) est d'un accès facile, il est apparu intéressant d'utiliser la phytothérapie, seule ou en complément, pour diminuer la dose de médicaments synthétiques, mais aussi parce que certains phytomédicaments semblent en même temps capables de lutter contre les complications du diabète (sclérose des vaisseaux sanguins, dépôt athéromateux, artérites et artériolites, hypertension, infections.) Deux types de substances végétales semblent intéressantes: Les plantes médicinales ou leurs extraits semblent intéressants dans le cas d'un diabète non insulino dépendant (type2). On prendra garde toutefois à ne pas supprimer brutalement les médicaments prescrits ou utilisés, mais à abaisser leur posologie progressivement (c'est le bon sens) jusqu'à la suspension éventuelle de leur prise mais toujours en surveillant l'évolution de la glycémie et de la glycosurie.

L'association de 2 ou 3 plantes paraît souhaitable, certaines agissent sur la libération d'insuline d'autres au niveau cellulaire périphérique, comme piègeur de radicaux libres, sur le métabolisme des lipides, l'hypertension. Ceci dit, les plantes médicinales peuvent dans certains cas (prédiabète, diabète modéré) être le seul traitement (associé au régime) et dans les autres cas (toujours diabète type2) peuvent contribuer à faire baisser la posologie des médicaments antidiabétiques tout en luttant contre les complications de cette « maladie ».

Le diabète (sucré) est la maladie (ou plutôt le syndrome) endocrinien le plus répandu. On estime les diabétiques à plus de 100 millions dans le monde et ce chiffre, ainsi que le pourcentage de la population touchée, sont en progression constante (aux alentours de 6% dans les pays « riches »).les diabètes non insulino-dépendants (type2 , diabète gras ou de la personne âgée) qui se révèlent plus tardivement et sont équilibrés le plus souvent par un régime (amaigrissant) hypocalorique-hypoglycémique avec ou sans traitement médicamenteux associé (principalement des sulfamides hypoglycémiques, des biguanides , l'insuline). C'est ce dernier type de diabète qui semble en progression constante et qui peut être soigné par la phytothérapie.

REFERENCES

- [1] R. Goldenberg, Z. Punthakee/Can JDiabetes37 (2013)S369eS372
- [2] R. M. Perez c., M. A. Zavala , S. Perez G., C. Perez G. Antidiabetic effect of compounds isolated from plants. *Phytomedicine*, Vol. 5(1), pp. 55 -75.
- [3] la Fuente, J. R.: El perfil de salud en Mexico, 1995. *MedicoModerno*34: 20 - 28, 1995.
- [4] Gbekley Efui Holaly, KarouDamintotiSimplice, Gnoula Charlemagne, Agbodeka Kodjovi, Anani Kokou, Tchacondo Tchadjobo, Agbonon Amegnona, Batawila Komlan, Simpore Jacques. Étude ethnobotanique des plantes utilisées dans le traitement du diabète dans la médecine traditionnelle de la région Maritime du Togo. *Pan African medical journal*. 2016.
- [5] American Diabetes Association. Diagnosis and classification of diabetesmellitus. *Diabetes Care* 2012;35 (suppl 1):S64e71.
- [6] Karou SD. Activités antibactériennes, antioxydantes et antiplasmodiales d'extraits de quatre plantes de la pharmacopée traditionnelle du Burkina. Thèse de Doctorat, Université de Ouagadougou, Burkina 2006 ; 109p.
- [7] Borris R.P., 1996. Natural products research: perspectives for a major pharmaceutical company. *Journal of Ethnopharmacology* 51: 29-38.
- [8] Moerman D.E., 1996. An analysis of the food plants and drugs plants of native North America. *Journal of Ethnopharmacology* 52: 1-22.
- [9] Kirby G.C., 1996. Medicinal plants and the control of parasites. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*90: 605-609.
- [10] Hostettman K. et Marston A., 2002. Twenty years of research into medicinal plants: results and perspectives. *Phytochemistry Review* 1: 275-285.
- [11] Eisenberg D.M., Kessler R.C., Foster C., Norlock F.E., Calkins D.R. et Delbanco T.L., 1993. Unconventional medicine in the United States: Prevalence, cost and pattern of use. *National England Journal of Medicine*328: 246-252.
- [12] Newman D.J., Cragg G.M. et Snader K.M., 2000. The influence of natural products upon drug discovery. *Natural Product Reports*17: 175-285.
- [13] Cragg G.M., Newman D.J. etSnader K.M., 1997. Natural products in drug discovery and development. *Journal of Natural Products*60: 52-60.
- [14] Marles, R.J., Fransworth, N.R.,(1995). Antidiabetic plants and their active constituents. *Phytomedicine* 2, 137–189.
- [15] Marles, R.J., Farnsworth, N., (1996). Antidiabetic plants and their active constituents: an update. *Protocols Journal of Botany and Medicine* 1, 85–135.

- [16] Adjanohoun EJ, Ahyi AM, Ake AJ, Baniaka J, Chibon P, Cusset G, Doulou V, EnzanzaA, Eyeme J, Goudote E, Keita A, Mbemba C, Mollet J, Moutsanbote JM, Mpati J, Sita P, Médecine traditionnelle et pharmacopée. Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques en République Populaire du Congo. *Agence de coopération culturelle et technique*, Paris 1988 ; 605p.
- [17] N'Guessan K, Kadja B, Zirihi NG, Traoré D, Aké-Assi L. Screening phytochimique de quelques plantes médicinales ivoiriennes utilisées en pays Krobou (Agboville, Côte-d'Ivoire). *Sciences & Nature 2009 ; Vol. 6 N°1 : 1 – 15.*
- [18] Mohamed IM, Ojewole JA. Hypoglycemic effect of Hypoxis Hermerocallidea corn (African potato) aqueous extract in rats. *Methods Find Exp Clin Pharmacol* 2003; 617 -623.
- [19] Tchacondo T, Karou DS, Batawila K, Agban A, Ouro-Bang'na K, Anani KT, Gbeassor M, de Souza C. Herbal remedies and their adverse effects in tem tribe traditional medicine in Togo. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicine* 2011; 8(1):
- [20] Bailey, c., Day, c.: Traditional plant medicines as treatments for diabetes. *Diabetes Care*, Vol 12, No 8, 553 - 564, 1989.
- [21] Ivorra, M. D., Paya, M., Villar, A.: Hypoglycemic and insuline release effects of tormentic acid: a new hypoglycemic natural product *Planta Med.* 282 - 286, 1988.
- [22] Alarcon, E], Roman, R. R., Floress, S. J.: Plantas medicinales usadas en el control de la diabetes mellitus. *Ciencia* 44: 363 - 381, 1993.
- [23] Perez, G. RM., Ocegueda, A., Munoz, L., AvilaJ. G.: A study of the hypoglycemic effect of some Mexican plants. *J. Ethnopharmacol.* 12: 253 - 256, 1984.
- [24] Kodjovi Agbodeka, Holaly E. Gbekley, Simplicie D. Karou, Kokou Anani, Amegnona Agbonon, Tchadjobo Tchacondo, Komlan Batawila, Jacques Simporé, Messanvi Gbeassor. *Ethnobotanical Study of Medicinal Plants Used for the Treatment of Malaria in the Plateau Region, Togo. Pharmacognosy Research*, Vol 8, Supplement 1, 2016
- [25] Raman, A., and Lau, c., Anti-diabetic properties and phytochemistry of *Momordica charantia* L. (Cucurbitaceae). *Phytomedicine* 2: 349 - 362, 1996.
- [26] Hammouda, Y., Amer, M. S.: Antidiabetic effect of tecomine and tecostanine. *J. Pharm. Sci.* 55: 1452 -1454, 1966.
- [27] Ban, Y., Murakami, Y., Iwasawa, Y., Tsuchiya, M. and Takano, N.: Indole alkaloids in medicine. *Med. Res. Rev.* 8: 231-308, 1988.
- [28] Mari es, R. J. and Farnsworth , N. R.: Antidiabetic plants and their active constituents. *Phytomedicine* 2: 137- 189, 1995.
- [29] White, c., Ward, c., Dombrowski, D. S., Dunlow, L. D., Brase, D. A., Dewey, W. 1.: Effect of intrathecal morphine on the fate of glucose. Comparison with effects of insuline and xanthan gum in mice. *Bioch. Pharmacol.* 45: 459 - 464, 1993.
- [30] Hill, R. S., Oberwetter, J.M., Boyd, A. E.: Increase in cAMP levels in b-cell line potentiates insulin secretion without altering cytosolic free-calcium concentration. *Diabetes* 36: 440 - 446, 1987.
- [31] Ferris, J.P.: Isolation and structural studies of the alkaloids of *Decadonverticillatus*. *J. Org. Chern.* 27: 2985 - 2990, 1962.
- [32] Petricic, J. and Kalodzera, Z.: Galeginin: its toxicity antidiabetic activity and content determination. *Acta Pharm. Yugoslavica* 32: 219 - 223, 1982.
- [33] Boyadzhieva, N.: Study on the influence of the plant *Lepidium ruderale* on the course of experimental sugar diabetes with absolute insuline insufficiency. *Problema V-treshinata Meditsina* 10: 125 -130, 1982.
- [34] Mitsubishi Chemic Industries COLTD Lathyrines as hypoglycemic. *Japan Kokai Tokyo* 82: 35, 514, 1982.
- [35] Monsereenunurson, R.: Effect of *Capsicum annuum* on blood glucose level. *Quar. J. Crude Drug Res.* 18: 1-7, 1980.
- [36] Qiming, C. and Mingzhi, X.: Hypoglycemic effect of *Coptis chinensis* extract and berberine. *Yaoxue Xuebao* 21: 401- 406, 1986.
- [37] Chen, Q. M. and Xie, M. Z.: Studies on the hypoglycemic effect on *Coptis chinensis* and berberine. *Acta Pharm. Sinica*, 21: 401- 406, 1986.
- [38] Satoshi, O., Yuzuru, Y., Yoko, S., Juichi, A., Yaeko, K., Masayuki, O.: Production of quinoline-2-methanol and quinoline-2-methanol acetate by a new specie of *Kitasatoa*, *Kitasatoa griseophaeus*. *J. Antibiot.* 29: 797 - 803, 1976.
- [39] Day, c.: The allium alliance. *Nut. Food Sci.* 90: 20 - 21, 1984.
- [40] Augusti, K. T., Benaim, M. E.: Effect of essential oil onion (allyl propyl disulphide) on blood glucose, free fatty acid and insulin levels of normal subjects. *Clin. Chim. Acta* 60: 121-123, 1975.
- [41] Karawya, M.S., Wahab, S. M., Farr ag, N. M.: Diphenylamine, an antihyperglycemic agent from onion and tea. *J. Nat. Prod.* 47: 775 - 780, 1984.
- [42] Kumari, K., Augusti, K. T.: Antidiabetic effects of S-methylcysteine sulfoxide 0 11 alloxan diabetes. *Planta Med.* 61: 72 - 74, 1995.
- [43] Mahayan, V. R. and Jolly, C 1.: A new hypoglycemic agent from *Tinospora cardifolia* Miers. *Indian Drugs* 23: 119-120, 1985.
- [44] Sterne J.: Pharmacology and mode of action of the hypoglycemic guanidine derivatives. In *oral hypoglycemic agents*. Campbell GD, Ed. New York, Academic, 193 - 245, 1982.
- [45] Jeliffe, D. B. and Stuart, K. L.: Acute toxic hypoglycemia in the vomiting sickness of Jamaica. *Brit. Med. J.* 1: 75 - 77, 1954.

- [46] Bresler, R., Corridelar, c., Brendel, K.: Hypoglycemic and hypoglycin-like compounds. *Pharmacol Rev.* 212: 105 -130, 1969.
- [47] Mackerns, K. W., Bird, H. H., Kaleita E., Coulomb B. S. and De Renzo, E. C: Effects of hypoglycin on certain aspects of glucose and fatty acid metabolism in the rat . *Biochem. Pharmacol.* 3: 305 - 308, 1960.
- [48] Rhinehart, B. L., Robinson, K. M., Payne, A.], Wheatly, M. E., Fisher, J. L., Liu, P. S., Cheng, W.: Castanospermine blocks the hyperglycemic response to carbohydrates in vivo: a result of intestinal disaccharidase inhibition. *Life Sci.* 41: 2325 - 2331,1987.
- [49] Senior, A. E. and Sherratt, H. S. A.: The effect of penta-4-enoic acid and some simple related compounds on the oxidation of fatty acids by rat liver mitochondria. *Biochem. J.* 104: 56 - 59,1967.
- [50] Mishkinsky, S., Goldschmied, A., Altronson, Z., Sulman, F. G.: Hypoglycemic effect of Trigonel/a [*oenumgraecum* and *Lupinus termis* (Leguminosae) seeds and their major alkaloids in alloxan-diabetic and normal rats. *Arch. Int. Pharmacodyn.* 210: 27 - 37, 1974.

THE RELATIONSHIP BETWEEN PERSONALITY TYPES, LEARNING STYLES, MOTIVATION, SELF-ESTEEM AND ACADEMIC STRESS AMONG DISTANCE LEARNERS IN IBADAN STUDY CENTER

Afusat Olanike Busari

Department of Counselling and Human Development Studies,
Faculty of Education, University of Ibadan, Nigeria

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

ABSTRACT: The study investigated the relationship between personality types, learning styles, motivation, self-esteem and academic stress among the distance learners of Ibadan Study Centre. Six hundred (600) respondents were purposively selected from four randomly selected faculties. The age range of the respondents was between 25 and 46 years with a mean age of 35.5 and SD = 4.2. Three research questions were raised and answered in this study. Five instruments were utilized to elicit information from the respondents. The instruments include: Student Academic Stress Scale; Multi-dimensional Personality Inventory; Self-esteem Scale; Self-report Situational Motivational Scale and Learning Style Scale. The data collected were analyzed using Pearsons Product Moment Correlation Coefficient and Multiple Regression analysis. The results obtained revealed that there were significant correlations among the independent variables. The independent variables (agreeableness, conscientiousness, emotional stability, extroversion, general intelligence, learning style, motivation and self-esteem) made joint contribution to the prediction of academic stress among the distance learners. The result also shows that self-esteem made the most potent contribution to the prediction of academic stress among the respondents. The implication of this is that learners with high self-esteem and appropriate learning skills are not prone to academic stress because they must have overcome stress producing stimuli through adequate preparation.

KEYWORDS: Personality types, Learning styles, Motivation, Self-esteem, Academic stress, Distance learners

INTRODUCTION

Distance learning education is a mode of delivering education and instruction, often on an individual basis, to students who are not physically present in a traditional setting such as a classroom. According to Vaughan and Norman (2010) distance learning provides "access to learning when the source of information and the learners are separated by time and distance, or both. According to Nwaocha and Inyama (2013) Open and distance learning (ODL) has as its main objective, attaining of mass literacy and providing opportunities for those who could not gain admission through designed entrance examination agencies as well as those who could not afford to leave their job to attend fulltime educational programme. In the past open and distance learning was seen as an experimental alternative to traditional educational delivery, however, new technologies have now made it much more than an experiment. Open and distance learning has grown into a higher education industry on its own and has become one of the main pathways to global education (Steyn 2001).

According to Singh and Paliwa (2012) open and distance learning system has tremendous potential of inclusive growth of education because of its distinctive nature of being a user friendly system. It is not only cost effective but it also contributes in the sustainable development through learning processes that transcends distance, gender, regional, cultural and socio-economic barriers. The phenomenal development which open and distance education has undergone and is still undergoing around the world indicates its significance in contemporary education development and planning. Most developing countries, including Nigeria, having realized that the spread of education in a society is the foundation of success in countries that are latecomers to development, now use it as a potent instrument for human resources development.

Distance education students with as many of the opportunities as possible as they would receive in in-person education because the distance educational increase in communication, particularly communication amongst students and their classmates is an improvement that has been made to provide for such opportunities. Learners aware of the variations in interpretation and construction of meaning among a range of people have been shown through research to [they] construct an individual meaning," which can help students become knowledgeable of a wide array of viewpoints in education (Francis Lee 2008). In order to overcome the influence of co-location on relationship building so as to increase the likelihood that students will build effective ties with one another during the course instructors should use similar assignments for students across different locations Yua and Connie (2006). As opposed to traditional education distance education has been a more cost-effective form of learning, and can sometimes save students a significant amount of money. According to Tabor Sharon (2007) considerable amount is being saved financially in distance education which has been of great help to the students by removing the cost of transportation. Students in distance education might be saved from the economic burden of high-priced course textbooks. Also, the increasing improvements in technology have resulted in many school libraries having a partnership with digital publishers that offer course materials for free, which can help students significantly with educational cost (Garrison, 2011).

Students are able to learn in ways that traditional classrooms would not be able to provide within the class. Stephen (2007) opined that students obtain higher satisfaction with their online learning because it is able to promote good learning experiences. Students for instance can review their lessons more than once according to their need. Students' coursework could be manipulated to fit their learning by focusing more on their weaker topics while breezing through concepts that they already have or can easily grasp (Orr, 2010). Distance education can lead students to higher satisfaction with their learning experiences when course design and the learning environment are at their optimal conditions. Studies have shown that high satisfaction correlates to increased learning. With high satisfaction in their online coursework students who enrolled in distance education are then motivated intrinsically to learn, which often means that their performance in class will improve (Lederman Doug 2013). Students feeling a greater sense of support, since they have ongoing and regular access to their instructors and other students (orr, 2010).

Information and Communications Technology (ICT) characterized by a combination of distance education and e-learning is extensively used in the delivery of education and instruction and the use of synchronous and asynchronous online communication in an interactive learning environment or virtual communities, in lieu of a physical classroom, to bridge the gap in temporal or spatial constraints. Distance Education and e-Learning is a combination of the strengths and advantages of Distance e-Learning. According to Garrison (2011) "The focus is shifted to the education transaction in the form of virtual community of learners sustainable across time." Various strategies, techniques, and procedures are introduced by Distance Education providers to increase the amount of interaction between learner and teacher. The generic term for all technologically supported learning, e-Learning is being used by service providers to deliver online courses or tutorial services. Lederman Doug (2013) asserted that in order to close the gap in transactional distance for instance, more frequent face-to-face tutorials, increased use of Information and Communication Technologies including teleconferencing and the Internet, were designed. New era in course design and delivery of instruction in ways never before experienced in the mainstream model of Distance Education and traditional education paradigms ushered in the increase in utilization of ICT, particularly the Internet. A new strategy in delivering courseware for academic programmes and other learning resources developed by Open Universities and conventional educational institutions through the marriage of the two concepts of Distance education and e-Learning

PERSONALITY AND ACADEMIC STRESS

Personality is an area of study that deals with complex human behaviour, including emotions, actions, and cognitive (thought) processes. Personality is not a fixed state but a dynamic totality, which is continuously changing due to interaction with the environment. The conduct, behaviour, activities, movements and everything else concerning the individual are known as personality. It is the way of responding to the environment; the way in which an individual adjusts with the external environment is personality. Each individual's characteristically recurring patterns of behaviour are known as personality. The five personality types discussed in this paper includes; Agreeableness, Conscientiousness, Emotional stability, Extroversion and General intelligence.

In simple words, stress refers to pressures or tension people feel in life Smith (2010) explored how different personality types may use different coping mechanisms, which would influence how an individual handles stress. Individuals that are considered extraverted are characterized as sociable, energetic, and assertive. Due to their sociability, extraverted people tend to have stronger support systems in times of difficulty. Also, extraverted people oftentimes view stressful events as challenges and opportunities to problem solve. Conscientious individuals, characterized as self-disciplined and persistent,

also engage in problem -solving as a proactive method of coping. In addition, conscientious people tend to be less impulsive and avoid engaging in risky behaviour that could lead to stress. In comparison, neurotic individuals are prone to feeling anxious, sad, and distressed when problems arise. Rather than dealing with problems head on, neurotic individuals tend to avoid finding solutions. Since neurotics tend to be more introverted, they do not have as strong as a support system to rely on. These differences in coping mechanisms could play a large role in the perceived stress of an individual. The creative and imaginative nature of open individuals may sometimes be a disadvantage in academic settings, particularly when individuals are required to reproduce curricular content rather than produce novel response or creative problem solving.

Goldberg opined that openness to Experience (sometimes called Intellect or General Intelligence) refers to how willing people are to make adjustments in notions and activities in accordance with new ideas or situations. Traits like having wide interests, being imaginative, insightful, attentiveness to inner feelings, preference for variety, and intellectual curiosity are part of openness (Costa, & McCrae, 1992). Researchers such as Jost, (2006) have demonstrated that people who are highly open to experience tend to be politically liberal and tolerant of diversity. The consequence of this is that they are generally more open to different cultures and lifestyles. Their ethnocentrism and right-wing authoritarianism is very low. There is no correlation between openness and neuroticism, or any other measure of psychological wellbeing. Being open and closed to experience are simply two different ways of relating to the world (Butler 2000).

It has been found that conscientiousness consistently predict academic achievement from preschool through high school, the postsecondary level and adult-hood. This factor predicts college grades even after controlling for high school grades and SAT scores which suggests that it may compensate for lower cognitive ability. Personal attributes necessary for learning and academic pursuits such as being organized, dependable and efficient, striving for success and exercising self-control may be associated with high conscientiousness. For example, in one study this factor was found to predict early completion of independent credit assignments, and signing up early to participate. Conscientiousness might even affect achievement through its effect on the sleep schedule — high Conscientious individuals rise and retire earlier. Motivational processes such as expenditure of effort, persistence, perceived Intellectual ability, effort regulation and attendance may be the effects of conscientiousness on academic performance. There is some evidence that particular facets of Conscientiousness — achievement-striving, self-discipline, diligence, achievement via independence — may be particularly strong predictors of academic achievement, perhaps stronger than the broad Conscientiousness factor itself.

Neuroticism has an inherent negative denotation (Bradshaw 1997) although (sometimes reversed and called Emotional Stability), an enduring tendency to experience negative emotional states and such feelings such as anxiety, anger, guilt, and depressed mood (Matthews & Deary 1998). Similarly, Goleman (1997) found that they respond more poorly to environmental stress, are more likely to interpret ordinary situations as threatening and minor frustrations as hopelessly difficult. They are often self-conscious and shy, and they may have trouble controlling urges and delaying gratification. Neuroticism is associated with low emotional intelligence, which involves emotional regulation, motivation, and interpersonal skills. It is also a risk factor for "internalizing" mental disorders such as phobia, depression, panic disorder, and other anxiety disorders traditionally called neuroses (Hettema, Neale, Myers, Prescott, & Kendler 2006). Individuals that are high in neuroticism may show more emotional reactions whenever confronted with stressful situations (Van Heck, 1997). Moreover, they seem to use avoiding and distracting coping strategies, such as denying, wishful thinking, and self-criticism, rather than more approaching strategies. Ineffective coping with stressful situations in the work environment makes individuals who are high in neuroticism more vulnerable to the symptoms that are typically associated with burnout (Bakker, Van der Zee, Lewig & Dollard 2006).

In early studies Neuroticism was found to predict poorer academic performance among school-aged children. In the study of emotional stability and academic success, emotional stability was shown to be related to academic success. Studies suggest a correlation between Neuroticism and academic achievement, particularly for the anxiety and impulsiveness facets. This relationship may be due to Neuroticism's correlation with study attitudes. However, some studies of both school children and university students have failed to find any significant correlations between Neuroticism and academic attainment. Such inconsistencies may reflect the role of moderating factors, such as self-control and motivation, in compensating for negative emotionality.

Extraversion (sometimes called Surgency), also referred to as social adaptability, though the popularity of this term seems to be waning (Zuckerman, 1991). Extraversion is the act, state, or habit of being predominantly concerned with and obtaining gratification from what is outside the self, defined as "a trait characterized by a keen interest in other people and external events, and venturing forth with confidence into the unknown (Ewen, 1998). The broad dimension of extraversion encompasses such more specific traits as talkative, energetic, gregarious and assertiveness. In general, there does not seem to be a relationship between Extraversion and college performance, although some studies have found evidence for a small,

negative correlation. Age may moderate the effect of Extraversion on academic success. Before the age of 11–12, extraverted children outperform introverted children; among adolescents and adults some research has shown that introverts show higher achievement than extraverts.

This change in the direction of the correlation has been attributed to the move from the sociable, less competitive atmosphere of primary school to the rather formal atmospheres of secondary school and higher education, in which introverted behaviours such as avoidance of intensive socialising become advantageous. Extraverts and introverts also differ in parameters of information-processing such as speech production, attention and reflective problem-solving, with performance varying along meaningful dimensions. For example, extraverts have been shown to be better at oral contributions to seminars but poorer at essay-writing than introverts. Although the temperamental precursors of Agreeableness, such as prosocial orientation, relate to better social adjustment, relations between this factor and academic attainment are consistently non-significant. However, antisocial personality traits associated with low Agreeableness may have detrimental effects. In addition, several unclassified factors may be particularly relevant to educational outcomes.

DISTANCE LEARNERS AND ACADEMIC STRESS

Stress is a necessary and unavoidable concomitant of daily living--necessary because without some stress individuals would be listless and apathetic creatures, and unavoidable because it relates to any external event, be it pleasurable or anxiety-producing. A person's response towards stress depends on whether an event is appraised as a challenge or a threat (Lazarus & Folkman, 1984). Challenging stimulus can lead to positive outcomes such as motivation and improved task performance while threatening ones or distress can result in anxiety, depression, social dysfunction and even suicidal intention. In fact, a certain amount of stress is actually necessary for survival. Stress thus adds flavour, challenges and opportunity to life.

Academic stress implies pressure and causes tension of worry resulting in various problems. Academic stress is common phenomenon among students. Academic stress results from a complex interaction between the events of life and the perception of those events by the students. The element of perception indicates the personality of an individual. As the personalities of individuals are distinctive, the reaction to stress of individuals is too. It is unique and personal to each of the students. The response to stress varies with the individuals, gender, streams of study, family income and locality. Academic stress is an individual's physical and mental reaction to environmental demands or pressures. It comes from mental or emotional activity, as well as physical activity. Stress condition is relative in nature. Extreme stress conditions are detrimental to human health but in moderation it is normal and, in many cases, proves useful. Environmental stressors affecting academic works include; peers treating fresher unlike the way treat each other, faculty treating different peer groups differently, need to mingle with peers of different race/ethnicity on campus, finding support groups sensitive to specific needs, living in the local community and adjusting to the campus environment. Other academic stressors include participating in class, handling the academic workload, meeting deadlines for course assignments, fear of failing to meet programme expectations, fulfilling responsibilities at home and school, taking examinations and handling relationships. Monetary Stressors that could affect academic works are; Family having money problems, paying monthly expenses, arranging childcare, being obligated to participate in family functions and being obligated to repay loan.

The following physical stressors could affect academic works; sleep disorder, poor diet, drug misuse, alcohol misuse, excess heat excess caffeine, excess cold, illness, smoking, lack of relaxation, surgery and chronic fatigue.

Psychological stressors militating against academic works are; peer pressure, excess anger, unrealistic beliefs, health worries, unrealistic expectations, excessive worrying, unhappy childhood, Unemployment, perfectionism, loneliness, low self esteem, people pleasing, boredom, negative self-talk, personality, right thinking style, excessive self-criticism and examination pressure.

The results of earlier studies suggest that financial burdens could be a potential stress factor for college students which contribute to low academic performance (Omigbodun et al., 2004; Seyedfatemi et al., 2007; Smith & Renk, 2007). Pfeiffer (2001) highlights that there are many students who have to work while they are attending school in order to pay for their fees. There are many times when students have to work late at night and then do not have the time to study. This can be hazardous for students as worrying about their financial issues and grades can be an immense stressor in their academic life. Academic problems have been reported to be the most common source of stress for students (Aldwin & Greenberger, 1987; Blumberg & Flaherty, 1985; Clark & Rieker, 1986; Evans & Fitzgibbon, 1992; Felsten & Wilcox, 1992; Kohn & Frazer, 1986; Mallinckrodt et al., 1989; Struthers et al., 2000 Busari, 2011, 2013). Schafer (1996) asked college students about their most stressful daily hassles. He observed that the most irritating daily hassles were usually school-related stressors such as constant pressure of studying, too little time, writing term papers, taking tests, plans, and boring instructors. Among the

stressors, test or examination anxiety is one of the main causes of academic stress and most students seem to be more emotionally vulnerable to examination (Fisher, 1994). Another frequently reported source of stress that most college students experience is receiving a lower grade than they expected (Evans & Fitzgibbon, 1992; Kohn & Frazer, 1986; Mallinckrodt et al., 1989; Ratana, 2003). Students have a fear of failure in relation to their grades and academic work.

To fall short of their own or others' expectations in school, job, athletics, or any other activity, one risks both external and internal costs: threat to academic or career prospects, disapproval, rejection, humiliation, guilt and blow to the self-esteem (Schafer, 1996). Stress associated with academic activities has been linked to various negative outcomes such as poor health (Greenberg, 1981; Lesko & Summerfield, 1989), depression (Aldwin & Greenberger, 1987), and therefore poor academic performance (Clark & Rieker, 1986; Linn & Zeppa, 1984). For example, Lesko and Summerfield (1989) found a significant positive correlation between the incidence of illness and the number of examinations and assignments. Similarly, Aldwin and Greenberger (1987) found that perceived academic stress was related to anxiety and depression in college students. Nevertheless, while too much stress can interfere with a student's preparation, concentration, and subsequently performance, but positive stress can be helpful to students by motivating them to peak performance (Pfeiffer, 2001). In conclusion, the literature indicated that perceived stress and the presence of the stress factors might influence the academic performance of students. In addition, it is also hypothesized that perceived stress and these stress factors present in different levels during the beginning, middle and end of semester.

LEARNING STYLES

The term "learning styles" speaks to the understanding that every student learns differently. Technically, an individual's learning style refers to the preferential way in which the student absorbs processes, comprehends and retains information. For example, when learning how to build a clock, some students understand the process by following verbal instructions, while others have to physically manipulate the clock themselves. This notion of individualized learning styles has gained widespread recognition in education theory and classroom management strategy. Individual learning styles depend on cognitive, emotional and environmental factors, as well as one's prior experience. In other words: everyone's different. It is important for educators to understand the differences in their students' learning styles, so that they can implement best practice strategies into their daily activities, curriculum and assessments.

Learning style or skills used in study defined as how student deal with their study approaches through perception towards their surrounding and how they can adapt to the task given into producing good end result (Richardson, 2011). Student mostly applies suitable strategies to acquire new material knowledge which help them further understand the topic and these strategies proved to be effective during their learning (Chen, 2009). Chen (2009) studies showed that there was significant relationship between grade level and language learning strategies. Learning styles proves to be significant when samples taken from 86 males and 93 females shows that most study techniques generate improvements in their Grade Point Average. Some of the technique used by the sample students was time management and procrastination factor which contributes Mean of 18.38. Concentration and memory along with note taking covers a mean of 20 while organizing and processing info scores mean of 19 which is quite high in the results (Hassanbeigi et al., 2011). Studies from Paisey and Paisey (2010) have resulted in 70 percent of respondent from University of study agreed on the importance of student ability to extract and analyze information from different kind of sources. Besides that, time management also becoming part of the type of learning where 66 percent respondent from University believed strongly about the traits that should be posed by students while in the other University 34 percent also feel the same way (Paisey and Paisey, 2010).

Studies from Fuente and Cardelle-Elawar (2009) have cemented the perception on how the students approach can affects their examination results outcome. The study further evidenced that that there is a significant correlations between how student put their learning strategy whether they are prone to be hardworking or used to the study smart approach. Fuente and Cardelle-Elawar (2009) have also made conclusive findings that student study planning and strategy have been the best option for top scorers' student to study because of their effectiveness. In the other hand, studies from Indreica et al., (2011) showed that time wasting have been the most defining difference that makes student struggle before the final examination. From the study, approximately 73 percent student started to struggle in last minute for final examination and this has caused information overload and student failed to be organized in their study which leads them to perform badly than previous examination performance (Indreica, et. al, 2011). Hence, good learning skills are very much a main concern in order to avoid student performance to decrease even more.

Self-esteem According to Rosenberg and Simmons (1975) is an individual's overall attitude, either positive or negative towards himself or herself. Harmon-Jones et al. (1997) define self-esteem as somebody's beliefs concerning how well they live up to the value standards set by the society which they live, while according to Branden, (2001) self-esteem refers to a

perspective compromising an individual's value while postulating his or her self-evaluation and self-description in a variety of fields. Moreover, Baumeister et al. (2003) considered successful performance in a learning task as an essential component to achieve a considerable rise in one's self-esteem. Byrne (1984) and Marsch (1990) concluded that self-esteem is tightly linked with academic performance while the results of the research of Lane et al. (2004) on the relationship between self-esteem, self-effectiveness and academic performance revealed significant correlations between self-esteem and academic performance. In addition, self-esteem was considered by Peixoto and Almeida (2010) as a strong outcome predictor regarding the academic performance. Moreover, self-esteem was devised as a significant factor as it is tightly linked to psychological well-being (Neff, 2011). Griffiths, Sharkey and Furlong (2009) have considered self-esteem as a fundamental factor which might affect student engagement. Self-esteem has been associated with the satisfaction that learners get from the course, too. Individuals with high levels of self-esteem have been considered to be more satisfied with the course that they attended as well as with their personal life in general.

Workman and Stenard (1996) underlined the important role of self-esteem in distance learning. They claimed that rising students' levels of self-esteem is very important in distance learning courses and they related this rise with reduction of the possibility of academic drop out. Kurtz et al. (2009) reported that there is a positive correlation between self-esteem and students' attitude toward online learning. It should be noted that Pullmann and Allik (2008) suggested that low self-esteem is not necessarily a sign of poor academic performance. Angelaki and Mavroidis (2013) concluded that both tutor-student and student-student communication play an important role in alleviating the intensity of negative emotions such as loneliness and solitude experienced by distance learning students.

According to Schunk, Pintrich, and Meece (2008) motivation is "the process whereby goal-directed activity is instigated and sustained". Motivation can influence what individual learn, how they learn, and when chosen to learn. Contemporary views link motivation to individuals' cognitive and affective processes, such as thoughts, beliefs, and goals, and emphasise the situated, interactive relationship between the learner and the learning environment (Brophy, 2010). Studies that explore motivation to learn in online contexts are relatively limited both in number and scope (Artino, 2008; Bekele, 2010). Existing research has had a tendency to adopt a limited view of motivation that does not acknowledge the complexity and dynamic interplay of factors underlying and influencing motivation to learn (Brophy, 2010). Instead, designing motivating learning environments has received attention (ChanLin, 2009; Keller, 2008). More frequently, motivation has been viewed as a personal characteristic that remains relatively stable across contexts and situations. Studies adopting this model have focused on identifying lists of traits of successful online learners (Wighting, Liu, & Rovai, 2008; Yukselturk & Bulut, 2007) and indicate that intrinsic motivation is a common characteristic (Shroff, Vogel, & Coombes, 2008; Styer, 2007). Findings from comparative studies between online students and on-campus students (Rovai, Ponton, Wighting & Baker, 2007; Shroff & Vogel, 2009; Wighting et al., 2008) also suggest that online students are more intrinsically motivated across the board than their on-campus counterparts at both undergraduate and postgraduate level.

Viewing motivation solely as an effect of the learning environment or as a learner attribute does not recognize that individuals can be motivated to a greater or lesser degree, and in different ways, in any given context and time (Turner & Patrick, 2008). Few studies of online learning environments have acknowledged this contemporary "person in context" situated view of motivation and have done so only in a limited way (Shroff, Vogel, Coombes, & Lee, 2007; Xie, DeBacker, & Ferguson, 2006). Together, these factors point to the need to reconsider motivation to learn in technology-mediated environments. From the foregoing it could be observed that even though studies abound on personality type, self-esteem and motivation but none has combined these variables with academic stress. It is on the basis of this that the current study sought to investigate the relationship between personality types, learning styles, motivation, self-esteem, and academic stress among the distance learners of university of Ibadan.

OBJECTIVES OF THE STUDY

The general objective of this study was to investigate the relationship between personality type, learning styles, motivation, self-esteem, and academic stress of the distance learners. The specific objectives of the study includes to;

1. Determine the relationship between personality types, learning styles, motivation, self-esteem, and academic stress of the distance learners
2. Find out the joint contribution of personality types, learning styles, motivation, self-esteem, and academic stress of the distance learners
3. Examine the relative contribution of personality types, learning styles, motivation, self-esteem and academic stress of the distance learners.

RESEARCH QUESTIONS

The following research questions guided this study.

1. What is the relationship between personality types, learning styles, motivation, self-esteem, and academic stress of the distance learners
2. What is the joint contribution of personality types, learning styles, motivation, self-esteem, and academic stress of the distance learners
3. What is the relative contribution of personality types, learning styles, motivation, self-esteem, and academic stress of the distance learners

METHOD

RESEARCH DESIGN

The research design adopted for this study was the descriptive type which was “*ex-post-facto*” in nature. This design is appropriate because the researcher collected data to describe the situation that exists. It does not involve the manipulation of variables in the study. It is therefore, after the fact study. It neither adds to nor subtracts from the existing fact. However, it is carefully observe and record information as it naturally occurred at the time the study was conducted.

POPULATION

The population for the study comprised all the distance learners of University of Ibadan Ibadan, Nigeria.

SAMPLE AND SAMPLING TECHNIQUE

The study was conducted on a group of six hundred (600) purposively selected distance learners from four randomly selected faculties of Arts, Education, Science and Social Sciences. The sample included 330 (55%) males and 270 (45%) females aged between 25 and 46 years (mean age 35.5 years and SD= 4.2). Almost half 282 (47%) of the respondents were employed while 318 (53%) were without employment. Concerning parental educational status 111 (18.5%) of the respondents' parents were literate and 489 (81.5%) of their parents were illiterate.

INSTRUMENTATIONS

Five research instruments were used in carrying out this study. They are:-

MULTI -DIMENSIONAL PERSONALITY INVENTORY (MPI)

Multi- Dimensional Personality Inventory (MPI) developed by Busari (2013) was utilized to measure the personality type based on self-report responses to 168 items tapping the appraisal and expression of personality type in self and utilization of personality type in solving academic problems. Participants responded by indicating their agreement to each of the 168 items using a five point rating scale ranging from 1 (Inaccurate), 2 (Moderately accurate), 3 (Neither inaccurate nor accurate), 4 (Moderately accurate), 5 (Very accurate). The instrument had an internal consistency alpha of 87. MPI consists of two sections with Section A consisting of demographic information of respondents such as age, sex, marital status, religion, type of family, parents' level of education etc. Section B has five sub -sections consisting of items tapping variables such as Agreeableness, Conscientiousness, Emotional Stability, Extroversion and General Intelligence.

SELF-ESTEEM SCALE

In an attempt to measure self esteem of the students, the Rosenberg's self-esteem scale (1965) was used. This instrument consists of ten (10) short questions. Responses were anchored on four rating points (Strongly Agree = 3, Agree = 2, Disagree = 1 and strongly disagree = 0) and had an internal consistency alpha of .75. Items with asterisk are reversed. The score of the items are summed up .The higher the score, the higher the self -esteem.

ACADEMIC STRESS SCALE

Student Academic Stress Scale developed by Busari (2011) was used as a measure of academic stress of respondents. It has two parts, part A consists of the demographic data such as age, sex, marital status etc. It is a ten (66) items scale with responses anchored base on the five likert rating points of (5= very much like me, 4= like me, 3=sometimes like me ,2=unlike me ,1=very much unlike me).High score in any of the sub- section indicates high level of academic stress. As indicated by author, the instrument total item has a Cronbach's Alpha of .92. The higher the score, the higher the academic stress experienced by the respondents.

SELF- REPORT SITUATIONAL MOTIVATIONAL SCALE (SIMS)

Learner motivation was measured using the self-report situational motivational scale (SIMS) developed by Guay, Vallerand, and Blanchard (2000), which operationalises elements of the SDT continuum. It measures situational intrinsic motivation, extrinsic forms of motivation (external regulation and identified regulation), and a motivation. Participants were asked to respond to these questions in relation to a specified assignment, and its associated online activities, within each course. Each of the four motivation subtypes was measured using 7-point Likert scales, with four questions for each motivation subscale. For each participant, these subscale scores were then used to calculate a single motivation score called the self-determination index (SDI). This follows the weighted calculation described and used in previous research (Ratelle, Baldwin, & Vallerand, 2005; Vallerand & Bissonnette, 1992; Vallerand & Ratelle, 2002). SDI scores can range from a minimum of -72 to a maximum of +72. While the calculation of the SDI is a useful indicator of overall motivation, subscale scores were also analysed as the SDI may not account for participants' endorsement of more than one type of motivation for engaging in an activity (Vallerand, Pelletier, & Koestner, 2008).

LEARNING STYLE SCALE

Felder and Silverman introduced a learning style assessment instrument that was specifically designed for classroom use and was first applied in the context of engineering education.-The instrument consists of 44 short items with a choice between 2 responses to each sentence. Learners are categorized in 4 dichotomous areas: preference in terms of type and mode of information perception (sensory or intuitive; visual or verbal), approaches to organizing and processing information (active or reflective), and the rate at which students progress towards understanding (sequential or global). The instrument associated with the model is known as the Index of Learning Survey (ILS). The ILS is based on a 44-item questionnaire and outputs a preference profile for a student or an entire class. The researchers administered the ILS twice and the Learning Style Type Indicator (LSTI) once to 138 residents (86 men, 52 women). The LSTI has been previously compared to the ILS by several investigators.- Cook found that the Cronbach's alpha scores for the ILS and LSTI ranged from 0.19 to 0.69. They preliminarily concluded that the ILS scores were reliable and valid among this cohort of residents, particularly within the active-reflective and sensing-intuitive domains. The authors found that the ILS active-reflective and sensing-intuitive scores as well as the LSI active-reflective scores were valid in determining learning styles. Examples of items of the scale are:

1. I understand something better after I _____ (a) try it out (b) think it through
2. I would rather be considered _____ (a) realistic (b) innovative
3. When I think about what I did yesterday, I am most likely to get
(a) a picture word (b) words
4. I tend to _____
(a) understand details of a subject but may be fuzzy about its overall structure.
(b) understand the overall structure but may be fuzzy about details
5. When I am learning something new, it helps me to _____
(a) talk about it (b) think about it

PROCEDURE

After obtaining permission from the deans of faculties of Arts, Education, Science and Social Sciences, the researcher then contacted the respondents through their course representatives. The researchers first explained to the respondents the

purpose of the study and all the relevant details concerning the study. The researchers also answered any concerns related to the study. The researcher explained to the students the purpose of the study so as to motivate them to participate in the study. The researcher also emphasized that their responses were going to be handled with confidentiality during the data collection, report writing, and dissemination of findings. The research instruments containing a brief preamble explaining the purpose of the study was given to the respondents to complete. The researcher was present during the data collection process to rectify any concerns raised by the respondents. Completed questionnaires were collected from the respondent with his/her signed consent form. The researcher rescreened the questionnaires for any unanswered items. Only 600 completed questionnaires were used for analysis.

METHOD OF DATA ANALYSIS

Data collected were analyzed using the Pearson’s Product Moment Correlation Coefficient (PPMC) and Multiple Regression Analysis at 0.05 level of significance. Multiple regression analysis was used to find the combined and relative contribution of the independent variables on the dependent variable. PPMC was used to determine if the relationship between the variables were statistically significant.

RESULTS

Table 1: Zero Order Correlation Showing the Significant Relationship among the Independent Variables and Academic Stress

	Academic Stress	Agreeableness	Conscientiousness	Emotional Stability	Extroversion	General Style	Learning Style	Motivation	Self-esteem	Mean	SD
Academic Stress										32.45	7.35
Agreeableness	.496** .000	1								16.72	4.52
Conscientiousness	.273** .000	.337** .000	1							58.55	11.45
Emotional Stability	.261** .000	.191** .000	.453** .000	1						27.49	6.93
Extroversion	.257** .000	.186** .000	.449** .000	.531 .000	1					14.15	3.83
General Intelligence	.133** .015	.215** .000	.297** .000	.535** .000	.533* .000	1				29.67	7.44
Learning Style	.164** .002	.251** .000	.419** .000	.537 .000	.534** .000	.528** .000	1			21.87	6.36
Motivation	.117* .029	.222* .000	.321** .000	.403** .000	.247** .000	.505** .000	.526** .000	1		26.37	7.07
Self-esteem	.151** .004	.213** .000	.356** .000	.377** .000	.278** .000	.296** .000	.347** .000	.561** .000	1	28.78	7.85

** Significant at 0.05 level (z-tailed).

Table 1 contains descriptive statistics and inter-correlations among the study variables. As shown in Table 1, academic stress is significantly correlated with agreeableness ($r=496^{**}$, $p(.000) < .05$), conscientiousness ($r=273^{**}$, $p(.000) < .05$), emotional stability ($r=261^{**}$, $p(.000) < .05$), extroversion ($r=257^{**}$, $p(.000) < .05$), general intelligence ($r=133^{**}$, $p(.015) < .05$), learning styles ($r=.164^{**}$, $p(.002) < .05$), motivation ($r=.117^{*}$, $p(.029) < .05$) and self-esteem ($r=.151^{**}$, $p(.004) < .05$). There were also significant correlations among the independent variables.

Table 2: Summary of Regression Analysis Showing the Combined Prediction of the Independent Variables to Academic Stress

R = 0.543 R Square = 0.288 Adjusted R Square = 0.273 Std. Error of the Estimate = 6.3870						
Model	Sum of Squares	DF	Mean Square	F	P	Remark
Regression	6461.800	8	807.725			
Residual	12703.023	291	43.653	18.187	0.000	Significant
Total	19164.823	299	851.378			

Table 2 reveals that there was significant joint contribution of the independent variables (agreeableness, conscientiousness, emotional stability, extroversion, general intelligence, learning styles, motivation and self-esteem) to the prediction of academic stress. The table also shows a coefficient of multiple correlation of $R=.543$ and multiple R^2 Adjusted of $.273$. This means that 27.3% of the variance was accounted for by the predictor variables when taken together. The significant of the composite contribution was tested at $p<.05$. The table also shows that the analysis of variance (ANOVA) for the regression yielded on F-ratio of 18.187 (significant at 0.05 level). This implies that the joint contribution of the independent variables to the dependent variable was significant and that other variables not involved in this model may have accounted for the remaining variance.

Table 3: Relative Contribution of the Independent Variables to the Prediction of Academic Stress

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
	B	Std. Error	Beta Contribution		
Constant	15.671	2.165		7.137	0.00
Self –esteem	.763	.081	.472	9.867	.000
Motivation	.419	.071	.315	6.233	.000
General Intelligence	-3.08	.062	-.031	-4.920	.623
Emotional Stability	.247	.067	.216	3.605	.000
Conscientiousness	-5.06	.070	-.043	-.728	.467
Learning Styles	.513	.076	.372	7.113	.000
Extroversion	-5.39	.064	-.051	-.836	.404
Agreeableness	-1.30	.111	-.067	-1.180	.239

Table 3 shows that each of the independent variables (agreeableness, conscientiousness, emotional stability, extroversion, general intelligence, learning styles, motivation and self-esteem) made significant contribution to the prediction of academic stress of distance learners. In terms of magnitude of contribution, self-esteem made the most significant contribution ($\beta=.372$; $t=7.113$; $p<.05$) followed by motivation ($\beta=.315$; $t=6.233$; $p<.05$) and emotional stability ($\beta=.216$; $t=3.605$; $p<.05$) while general intelligence ($\beta=-3.08$; $t=-4.92$; $p>.05$), conscientiousness ($\beta=-.043$, $t=-.728$; $p>.05$), extraversion ($\beta=-.057$; $t=-.836$; $p>.05$) and agreeableness ($\beta=-.067$; $t=-1.180$; $p>.05$) had no relative contribution to academic stress of distance learners.

DISCUSSION

The result obtained from the first research question revealed that academic stress of distance learners was significantly correlated with the independent variables (agreeableness, conscientiousness, emotional stability, extroversion, general intelligence, learning styles, motivation and self-esteem). The indication of this is that students who feel competent and self-determined in the school context develop an autonomous academic motivation which in turn, had a positive impact on school performance. This finding corroborates the study carried out by Murphy (1989) cited in Aleburu, Lagoke, Opoola, Busari and Oladejo (2014) that psychological variables and motivation characteristics are very important in distance learning. Again, this means that environmental and psychological variables such as personality type, self-esteem, learning styles and motivation are determinants and intervening mechanism that govern the selection, activation and sustained direction of behaviour. Deficits in these variables could result in academic stress among the distance learners.

The result as revealed by the second research question shows that there was significant joint contribution of the independent variables (agreeableness, conscientiousness, emotional stability, extroversion, general intelligence, learning style, motivation and self-esteem) to the prediction of academic stress. This finding is not surprising considering the fact that personality connotes the conduct, behaviour, activities, movement and everything else concerning the individual. It also involves the way of responding to the environment and the way an individual adjust to the external environment. For instance, Just (2006) study demonstrated in personality indicated that there was no correlation between general intelligence (openness) and other measures of psychological well-being. It was also observed by Smith (2010) that individuals considered to be extraverted tends to have stronger support systems in times of difficulty. It simply means that extrovert individuals may use different coping mechanisms to handle stress and such ameliorate their level of academic stress.

Again, academic stress results from a complex interaction between the events of life and the perception of those events by the distance learners. The element of perception indicates the personality of an individual. It follows therefore that as the personalities of individuals are distinctive, the reactions to stress of individuals is. This study lend support to the findings of Smith and Renk (2007) which found that financial burden could be potential stress factor to the distance learners which contributed to low academic performance. Pfeiffer (2001) also made some contributions which supports the findings of this study when he found that many students have to work while they are attending college in order to pay their fees. He went further to say that there are many times when students have to work late at night and then do not have time to study. This he said can be hazardous for students as worrying about their financial issues and grades can be an immense stressor in their academic life. Stress associated with academic activities has been linked to negative outcomes such as frustrations, financial problems, conflicts, pressures, changes and perceived stress and the presence of the stress factors might influence the academic performance of the learners.

The result of third research question shows that each of the independent variables (agreeableness, conscientiousness, emotional stability, extroversion, general intelligence, learning styles, motivation and self-esteem) made a significant contribution to the prediction of academic stress strong distance learners. In order of magnitude, self-esteem made the most significant contribution, followed by learning styles, motivation and emotional stability. General intelligence, conscientiousness, extraversion and agreeableness had no relative contribution to academic stress among distance learner. This finding is in line with the study of Kurtz et al (2009) who reported that there was a positive correlation between self-esteem and students' attitude toward online learning. Angelaki and Mayroidis (2013) buttressed this when they concluded that both tutor-student and student-student communication play on important role in alleviating the intensity of negative emotions such as loneliness and solitude experienced by distance learning students.

Learning styles also made significant contribution to academic stress among distance learners. This finding is so because style of learning helps the students to perform better in their academic works. Learning styles consist of time management, concentrations and memory, study aids, note taking and group work. If all these aspects of learning styles are deficient, it creates a sort of worrying and stress to the distance learners and therefore could affect their academic performance. Corroborating the findings of this study Fuente and Cardelle-Elawar (2009) found that there was a significant correlation between how students put their learning strategy whether they are prone to be hardworking or used to the study smart approach. This means that students who struggled in the last minute for final examination cause information overload and such students failed to be organised in their study as a result of excessive stress which in turn leads them to perform badly in their examinations.

Motivation is another contributory variable to the prediction of academic stress among the distance learners. This finding implies that motivated learners are more likely to undertake challenging activities, to be actively engaged, to enjoy and adopt a deep approach to learning and to exhibit enhanced performance, persistence and creativity. Brophy (2010) lend credence to findings of this study when he found that contemporary views link motivation to individuals' cognitive and affective processes, such as thoughts, beliefs and goals and emphasise the situated, interactive relationship between the learner and the learning environment.

The results obtained from this study indicated that general intelligence, conscientiousness, extraversion and agreeableness had no significant contribution to the prediction of academic stress among the distance learners. The implication of this is that general intelligence has a positive correlation with standardised measures of knowledge and achievement and is modestly correlated with cognitive ability. General intelligence may facilitate the use of efficient learning strategies which in turn affects academic success.

Furthermore, that conscientiousness, had no significant contribution to the prediction of academic stress among distance learners could be as a result of personal attributes necessary for learning and academic pursuit demonstrated such as being organised, dependable and efficient, striving for success and exercising self-control which is associated with conscientiousness.

The findings of this study also reveal that there was no significant contribution of extraversion to the prediction of academic stress among the distance learners. This may be because the broad dimension of extraversion encompasses such more specific traits as talkative, energetic, gregarious and assertiveness. In general there does not to be a relationship between extraversion and college performance, although some studies have found evidence of a small negative correlations. The result have shown significance trend of students or difficult task given them during their stint as a distance learners. This study agreed with that of Habibah et al (2012) who found that students with high confidence level can succeed in the examination and that self-efficacy plays a big role producing academic excellences.

It follows therefore that learners with high confidence and high self-efficacy are not likely to be pre-occupied with academic stress. Also learners with intrinsic motivation, high self-esteem and appropriate learning skills are not prone to academic stress because they must have overcome stress producing stimuli through adequate preparation, belief in their abilities and exhibit enhanced performance, persistence and creativity.

CONCLUSION

The study attempted to provide a better understanding of some variables (psychological and environmental) and its relationship with academic stress among the distance learners. It attempted to provide the sources of academic stress among the distance learners. All the eight variables (Agreeableness, Conscientiousness, Emotional stability, Extroversion, General intelligence, Learning styles, Motivation and Self-esteem) contributed differentially to the academic stress of distance learners

REFERENCES

- [1] Aleburu, V.I; Lagoke, B.A; Opoola, B.T; Busari, A.O; and Oladejo, M.A;(2014) A Study of Psychological Variables and Scholastic Achievement of Distance Learners with Disabilities in Nigeria. *Journal of Issues in Special Education* 13(2) 88-107.
- [2] Blackmore, C., van Deurzen, E., & Tantam, D. (2007). Therapy training online: Using the internet to widen access to training in mental health issues. In T. Stickley & T. Basset (Eds.) *Teaching Mental Health* (pgs. 337-352). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Ltd.
- [3] Blackmore, C., van Deurzen, E., & Tantam, D. (2007). Therapy training online: Using the internet to widen access to training in mental health issues. In T. Stickley & T. Basset (Eds.) *Teaching Mental Health* (pgs. 337-352). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Ltd.
- [4] Busari, A.O. (2011) Validation of Student Academic Stress Scale (SASS) *European Journal of Social Sciences* 21(1) pp. 94 - 105 (Austria)
- [5] Busari, A.O. (2013), Development and Validation of Multi-dimensional Personality Inventory (MPI). *African Journal for the Psychological Studies of Social Issues (AJPSSI)* 16(1) 13-27. (Nigeria)
- [6] Casey, Anne Marie; Lorenzen, Michael (2010). Untapped Potential: Seeking Library Donors Among Alumni of Distance Learning Programs. *Journal of Library Administration* (Routledge) 50 (5): 515–529. doi:10.1080/01930826.2010.48859. Retrieved 23 January 2011.
- [7] Ellen L. Bunker, The History of Distance Education through the Eyes of the International Council for Distance Education, in Michael Grahame Moore, William G. Anderson, eds. *Handbook of Distance Education* pp 49-66
- [8] Francis Lee (2009). *Letters and bytes: Sociotechnical studies of distance education*. Francis Lee. p. 48.
- [9] Francis Lee (2008). Techno-pedagogies of mass-individualization: correspondence education in the mid twentieth century. *History & Technology* (2008) 24#3 pp 239-253
- [10] Garrison, D.R. (2011, 20 May). *E-Learning in the 21st Century: A Framework for Research and Practice*. New York: Taylor & Francis. ISBN 0-203-83876-9
- [11] History 2009. University of London External Programme Website. Londonexternal.ac.uk. 15 July 2009. Retrieved 27 April 2010.
- [12] Key Facts 2009. University of London External Programme Website. Londonexternal.ac.uk. 15 July 2009. Retrieved 27 April 2010.
- [13] Kirtman, Lisa (Fall 2009). Online Versus In-Class Courses: An Examination of Differences in Learning Outcomes. *Issues in Teacher Education* 18 (2): 103–115. Retrieved 30 March 2013.
- [14] Lederman, Doug (8 January 2013). Growth for Online Learning. *Inside Higher Ed*. Retrieved 30 March 2013.
- [15] Lever-Duffy, Judy; McDonald, Jean B (March 2007). *Teaching and Learning with Technology*. Ana A. Ciereszko, Al P. Mizell (3rd ed.). Allyn & Bacon. p. 377. ISBN 0-205-51191-0. Retrieved 23 January 2011.
- [16] Levering Tyson, Ten Years of Educational Broadcasting. *School and Society* (1936) 44:225-31
- [17] Moore, Michael Grahame and William Anderson (2012). *Handbook of Distance Education* (2nd ed.). Psychology Press. [online edition](#)
- [18] Olszewski-Kubilius, Paula; Corwith, Susan (2011). Distance Education: Where It Started and Where It Stands for Gifted Children and Their Educators. *Gifted Child Today*, v. 34 issue 3, 2011, p. 16-24.
- [19] Orr, P. (2010). Distance supervision: Research, findings, and considerations for art therapy. *The Arts in Psychotherapy*, 37, 106-111.

- [20] Östlund, Berit. (2011). Stress, disruption and community — Adult learners' experiences of obstacles and opportunities in distance education. Department of Child and Youth Education, Special Education and Counselling, Umeå University. Retrieved 3 December 2011.
- [21] Sazmand Asfaranjan, Y.; Shirzad, F.; Baradari, F.; Salimi, M.; Salehi, M. (2013). Alleviating the Senses of Isolation and Alienation in the Virtual World: Socialization in Distance Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences - Journal – Elsevier* (93): 332–337. Retrieved 19 February 2014.
- [22] Stephens, D. (July 2007). *Quality issues in distance learning*.
- [23] Tabor, Sharon W (Spring 2007). Narrowing the Distance: Implementing a Hybrid Learning Model. *Quarterly Review of Distance Education (IAP)* **8** (1): 48–49. ISSN 1528-3518. Retrieved 23 January 2015.
- [24] Tatum Anderson (16 May 2007). History lessons at the people's university. *Guardianabroad.co.uk*. Archived from the original on 24 May 2007. Retrieved 27 April 2010.
- [25] Vaughan, Dr Norman D. (2010). Blended Learning. In Cleveland-Innes, MF; Garrison, DR. *An Introduction to Distance Education: Understanding Teaching and Learning in a New Era*. Taylor & Francis. p. 165. ISBN 0-415-99598-1. Retrieved 23 January 2011.
- [26] Yuan, Y. Connie; Gay, Geri (2006). Homophily of Network Ties and Bonding and Bridging Social Capital in Computer-Mediated Distributed Teams. *Journal of Computer-Mediated Communication* **11** (4): 1062. doi:10.1111/j.1083-6101.2006.00308.x.

LES CRITERES DE CHOIX D'UNE BANQUE: UNE ANALYSE FAITE SUR LES PETITES ET MOYENNES ENTREPRISES DE LA VILLE DE BUKAVU

[CRITERIA FOR CHOOSING A BANK: ANALYSES ON SMALL AND MEDIUM-SIZED BUSINESSES IN BUKAVU CITY]

Damien MANEGABE KATULANYA

Assistant de deuxième mandat, Institut Supérieur de Techniques de Développement de Mulungu (ISTD-MULUNGU), Bukavu, Sud-Kivu, RD Congo

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

ABSTRACT: In December 2015, we have made a survey on 67 small and medium-sized businesses having an account in one of the seven main banks operating in Bukavu City. The aim was to know the determining factors of a Bank by the Bukavu's small and medium-sized businesses which can assist these financial institutions in marketing strategies. The analytical method sustained by the survey technique was very useful for to collect and interpret the data on the field. The findings proved that several factors intervene in the choice of a Bank as a partner to small and medium-sized businesses in the Bukavu City. Among them we listed the price cost of granted services by the Bank, loan facility, service's quality solvency and the Bank reputation. Considering these variables, the marketing services of our different Banks should focus their marketing strategies to the above mentioned factors in order to attract customers.

KEYWORDS: criteria, Choice, Bank, small and medium-sized businesses.

RÉSUMÉ: Durant le mois de décembre 2015, nous avons mené une enquête auprès de 67 petites et Moyennes Entreprises ayant ouvert un compte dans l'une de sept principales banques présentes dans la ville de Bukavu, en vue de déceler les facteurs qui déterminent le choix d'une banque par les P.M.E de Bukavu et qui peuvent servir de base pour les stratégies marketing de ces institutions financières de la place.

La méthode analytique appuyée par la technique d'enquête nous ont été utiles pour la récolte et le traitement des données sur terrain.

A l'issue de nos enquêtes, il ressort que plusieurs facteurs interviennent dans le choix d'une banque comme partenaire à la P.M.E de la ville de Bukavu. Il s'agit notamment du coût des services offerts par la banque, l'accès facile au crédit, la qualité de la banque ainsi que sa réputation.

Considérant ces révélations, les services de marketing de nos différentes banques devraient orienter leurs stratégies marketing vers ces différents facteurs en vue de s'attirer des clients.

MOTS-CLEFS: Critères, Choix, Banque, Petite et Moyenne Entreprise.

1 INTRODUCTION

« Toute institution financière a pour activité fondamentale de produire et de procurer des services financiers destinés aux particuliers ainsi qu'aux entreprises qu'elles soient publique ou privées » (ARNAULD 1980) (1).

Pour cette fin, il faut d'information sur son marché afin de mieux choisir une stratégie de couverture de ce dernier et planifier efficacement ses activités à venir. Ces informations doivent être exactes, actuelles et opérationnelles. Comprendre la perception de ses clients, constitue souvent un élément clé pour prendre des meilleures décisions à court, à moyen et à long terme.

Pour (BENHABIB 1999) (2), le succès des banques quelles que soient leurs tailles ne peut avoir lieu sans l'adhésion de la clientèle, aux propositions des produits et services présentés.

Dans cette vision d'idées, les études des marchés qui précèdent à toute stratégie marketing ont pour finalité notamment de détecter les informations relatives aux principaux mobiles d'attraction des clients (particuliers ou entreprises) par un produit ou service offert et donc aux facteurs fondamentaux perçus comme valeurs par ces derniers.

Effectivement, les P.M.E disposent des objectifs relativement distincts de ceux des particuliers. Comme toute entreprise, elles poursuivent un but lucratif et donc la recherche permanente du profit.

« L'un des pistes pour atteindre cet objectif est la minimisation de leurs coûts de toute nature : le coût de service lui offert par son institution financière faisant partie, l'entreprise en fait un critère prépondérant dans la décision d'adhérer à celle-ci » (Peter et Olson, 1994) (3).

Par ailleurs chez les individus, le choix d'une institution financière se fait parfois pour de raison de commodité, de connaissance et de recommandation. Dans le cadre d'une P.M.E, ce choix est crucial et mérite de s'y pencher car l'institution à choisir sera partenaire prépondérant puisqu'elle va gérer le nerf de la guerre de l'entreprise à savoir ses finances.

Dans la ville de Bukavu, différentes banques sont disponibles et mettent leurs services à la disposition des P.M.E de la place, les induisant alors dans un problème de choix parmi cette multitude d'offre de services, choix basé sur un certain nombre des critères.

De ce qui précède, il sied de s'interroger sur les éléments qui déterminent le choix d'une banque par les P.M.E de Bukavu et qui peuvent servir de base pour les stratégies marketing de ces institutions financières de la place.

En guise de réponse anticipative à cette question, nos réflexions sont parties d'un certain nombre d'hypothèses qui justifieraient ce choix à savoir la valeur économique des biens et services à acheter par opposition aux critères subjectifs liés aux comportements des individus qui gèrent ces entreprises. Il s'agit notamment de : coût des services offerts par l'institution, accès facile au crédit, qualité des services offerts, la proximité de l'institution par rapport au siège de la P.M.E, l'ancienneté de l'institution bancaire, la solvabilité de la banque, sa réputation ainsi que le nombre de ses représentants sur le territoire congolais et à l'étranger.

Le présent travail a pour objectifs :

- De permettre aux institutions bancaires de la ville de Bukavu, de mieux orienter leurs messages publicitaires vers les entreprises, dans le cadre de leur marketing opérationnel, afin d'attirer plus de P.M.E de la place.
- De permettre aux institutions financières de mieux adapter leur offre de service pour satisfaire la demande de P.M.E, tant il est vrai qu'une demande satisfaite améliore significativement la compétitivité d'une institution financière dans son secteur.

2 APPROCHE METHODOLOGIQUE

Notre population est constituée de toutes les P.M.E de Bukavu ayant ouvert un compte dans les différentes banques de la place et cela jusqu'à la fin du mois de décembre 2015. Il s'agit précisément des entreprises membres des banques suivantes : Banque Internationale de Crédit (BIC) ECOBANK, BCDC, RAWBANK, La TMB, la BIAC et la FINKA.

Ainsi le nombre des P.M.E tel que récolté auprès des différentes banques est présenté dans le tableau suivant :

Tableau n° 1 : Répartition des P.M.E clients des banques de Bukavu par secteur d'activités

Secteur	Nombre des P.M.E par banque							Total
	BCDC	RWABANK	ECOBANK	BIAC	TMB	BIC	FINKA	
Commerce de gros	180	225	121	140	107	122	75	970
Commerce de détail	489	320	285	325	301	210	195	2.125
Transport	55	96	23	62	42	35	30	344
Artisanat	72	85	45	74	60	33	53	422
Services	290	301	250	280	185	250	106	1.662
Total	1.086	1.027	724	881	695	650	459	5.522

Source : Fichiers des banques de Bukavu pour clients P.M.E

Il existe plusieurs techniques d'échantillonnage, mais pour notre étude nous avons appliqué la technique probabiliste qui consiste à tirer de façon aléatoire les individus qui font partie de la population et qui peuvent donner lieu à une généralisation s'appuyant sur des principes de calcul des probabilités. Par ailleurs les P.M.E font l'objet de notre étude. Celles-ci constituent des unités économiques effectuant des choix en se basant sur des réalités relatives à leurs secteurs d'activités respectifs. Compte tenu de ceci, nous allons recourir à l'échantillon aléatoire stratifié qui divise la population sous étude en sous-population appelées strates, avant de procéder au tirage aléatoire d'un échantillon dans chacune de ces strates. L'ensemble des échantillons choisis constituent l'échantillon final qui sera soumis à l'analyse.

La taille de notre échantillon est donnée par la formule suivante :

$$n = \frac{Z^2 \cdot N \cdot V^2 \cdot X}{Z^2 \cdot V^2 \cdot X + (N - 1) \sum^2} \text{ où } n = \text{taille de l'échantillon}$$

V^2 est la variance relative pour la variable X

N = effectif total

Z = niveau de confiance fixé par nous-mêmes = 1,645 (voir tableau de la loi normale centrée réduite),

Σ = intervalle de confiance, fixé à 90%, à cet effet $\Sigma = 0,1$ soit 10%.

La variance $V^2 = p(1-p) = 0,5(1-0,5) = 0,25$.

$$\text{Taille de l'échantillon} = \frac{1,695 \cdot 5522 \cdot 0,25}{1,695^2 \cdot 0,25 + (5522 - 1) \cdot 0,1^2}$$

$n = 67,2$ soit 67 PME (tous secteurs confondus).

En outre, pour déterminer l'échantillon stratifié, nous allons recourir à l'échantillon proportionnelle qui consiste à un tirage tel que les taux de sondage n/N soient les mêmes pour toutes les strates.

$$\text{Taux de sondage} = \frac{67}{5522} = 0,012$$

Tableau n° 2 : Répartition de l'échantillon de l'enquête entre les différentes strates (sous-population)

Secteurs	Nombre	Taille de l'échantillon
Commerce de gros	970	$970 \times 0,012 = 11,64 = 12$
Commerce de détail	2.125	$2.125 \times 0,012 = 25,5 = 26$
Transport	343	$343 \times 0,012 = 4,116 = 4$
Artisanat	422	$422 \times 0,012 = 5,064 = 5$
Services	1.662	$1.662 \times 0,012 = 19,94 = 20$
Total	5.522	67

Sur un effectif de 5.522 P.M.E présentent dans la ville de Bukavu, nos enquêtes ont été faites sur 67 P.M.E.

Tableau n° 3 : Répartition de l'échantillon de l'enquête entre les différentes banques de Bukavu.

Banques	Nombre	Taille de l'échantillon par banque
BCDC	1.086	1.086 x 0,012 = 13
RAWBANK	1.027	1.027 x 0,012 = 12
ECOBANK	724	724 x 0,012 = 9
BIAC	881	881 x 0,012 = 11
TMB	695	695 x 0,012 = 9
BIC	650	650 x 0,012 = 8
FINKA	459	459 x 0,012 = 5
Total		67

Nous avons alors soumis un questionnaire d'enquête à 67 P.M.E de la ville de Bukavu (secteurs confondus).

Le questionnaire était soumis à la personne chargée de prendre des décisions pour l'entreprise et une brève explication lui était faite immédiatement.

Nos enquêtes ont duré 15 jours (du 01/12 2015 au 15/12/2015).

Le questionnaire a été élaboré sur base des hypothèses à vérifier afin de récolter les réponses nécessaires pour cette fin.

Nous avons symbolisé d'une part nos modalités par les chiffres suivants :

1 = Pas du tout important

2 = Peu important

3 = Moyennement important

4 = Assez important

5 = Très important, et d'autre part nos huit variables ont été symbolisés par les lettres suivantes :

A = Le coût de services offerts par la banque

B = L'accès facile au crédit

C = La qualité de services offerts

D = La proximité de la banque par rapport au siège de la P.M.E

E = L'ancienneté de la banque

F = La solvabilité de la banque

G = La réputation de la banque

H = Le nombre des représentants de la banque sur le territoire congolais et à l'étranger.

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

Tableau n° 4 : Répartition de l'échantillon du secteur de commerce de gros par niveau d'importance relative à chacun de nos huit variables

Modalités	VARIABLES															
	A		B		C		D		E		F		G		H	
	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq
1	0	0%	0	0%	0	0%	3	25%	3	25%	0	0%	0	0%	1	8,3%
2	0	0%	0	0%	0	0%	6	50%	4	33,33%	0	0%	0	0%	1	8,3%
3	0	0%	0	0%	2	16,67%	2	16,16%	2	16,67%	0	0%	0	0%	2	16,67%
4	1	8,6%	0	0%	6	50%	0	0%	2	16,67%	0	0%	0	0%	3	25%
5	11	91,4%	12	100%	4	33,33%	1	8,33%	1	8,33%	12	100%	12	100%	5	41,67%
Total	12	100%	12	100%	12	100%	12	100%	12	100%	12	100%	12	100%	12	100%

Source : Nos enquêtes sur terrain

DISCUSSION

Il ressort de ce tableau, que pour le secteur de commerce de gros, les variables coûts de services offerts par la banque, l'accès facile au crédit, la qualité des services offerts par la banque, la solvabilité de la banque, la réputation de la banque ainsi que le nombre des représentants de la banque sur le territoire congolais et à l'étranger, sont significatives dans le choix de la banque par les P.M.E de la ville de Bukavu. Ces variables répondent donc à nos hypothèses.

Par contre, les variables proximité de la banque par rapport au siège de la P.M.E et l'ancienneté de la banque sont rejetées.

Tableau n° 5 : Répartition de l'échantillon du secteur de Commerce de détail par niveau d'importance accordé à chacune de nos huit variables.

Modalités	VARIABLES															
	A		B		C		D		E		F		G		H	
	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq
1	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	12	46,15%	0	0%	0	0%	6	23,08%
2	0	0%	0	0%	4	15,3%	1	3,85%	8	30,8%	0	0%	0	0%	14	53,8%
3	0	0%	2	7,8%	6	23,1%	4	15,38%	4	15,38%	0	0%	0	0%	5	19,25%
4	0	0%	7	26,9%	6	23,1%	5	19,24%	2	7,7%	0	0%	0	0%	1	3,85%
5	26	100%	17	65,4%	10	38,46%	16	61,52%	0	0%	26	100%	26	100%	0	0%
Total	26	100%	26	100%	26	100%	26	100%	26	100%	26	100%	26	100%	26	100%

Source : Nos enquêtes sur terrain

DISCUSSIONS

Il ressort de ce tableau, que pour les entreprises du secteur de commerce de détail, les variables coûts des services offerts par la banque, l'accès facile au crédit, la qualité des services offerts par la banque, la proximité de la banque par rapport au siège de la P.M.E, la solvabilité de la banque et sa réputation sont des critères qui expliquent mieux le choix de la banque par la P.M.E de ce secteur dans la ville de Bukavu. Ils répondent donc à nos hypothèses.

Cependant, l'ancienneté de la banque ainsi que le nombre de ses représentants sur le territoire congolais et à l'étranger sont considérés comme des variables ne répondant pas à nos hypothèses et donc rejetées.

Tableau n° 6 : Répartition de l'échantillon des entreprises du secteur de transport par niveau d'importance accordé à chacune de nos huit variables.

Modalités	VARIABLES															
	A		B		C		D		E		F		G		H	
	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq
1	0	0%	0	0%	0	0%	1	25%	1	25%	0	0%	0	0%	1	25%
2	0	0%	0	0%	0	0%	2	50%	2	50%	0	0%	0	0%	2	50%
3	0	0%	0	0%	1	25%	1	25%	1	25%	0	0%	0	0%	1	25%
4	0	0%	0	0%	2	50%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
5	4	100%	4	100%	1	25%	0	0%	0	0%	4	100%	4	100%	0	0%
Total	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%	4	100%

Source : Nos enquêtes sur terrain

DISCUSSION

Les données de ce tableau indiquent que les P.M.E du secteur de transport considèrent les variables coûts des services offerts par la banque, l'accès facile au crédit, la qualité des services offerts par la banque, la solvabilité de la banque ainsi que sa réputation comme étant des variables déterminantes dans leur adhésion à une banque. Inversement, les variables proximité de la banque par rapport au siège de la P.M.E, l'ancienneté de la banque et le nombre des représentants de la banque sur le territoire congolais et à l'étranger sont des hypothèses rejetées pour ce secteur particulier.

Tableau n° 7 : Répartition de l'échantillon du secteur artisanal par niveau d'importance relative à chacune de nos huit variables

Modalités	VARIABLES															
	A		B		C		D		E		F		G		H	
	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq
1	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	20%	0	0%	0	0%	2	40%
2	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	3	60%	0	0%	0	0%	3	60%
3	0	0%	0	0%	3	60%	2	40%	1	20%	0	0%	0	0%	0	0%
4	0	0%	2	40%	1	20%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
5	5	100%	3	60%	1	20%	3	60%	0	0%	5	100%	5	100%	0	0%
Total	5	100%	5	100%	5	100%	5	100%	5	100%	5	100%	5	100%	5	100%

Source : Nos enquêtes sur terrain

DISCUSSION

Ce tableau indique que parmi nos huit variables, seules l'ancienneté de la banque et le nombre de ses représentants sur le territoire congolais et à l'étranger n'induisent pas les P.M.E du secteur artisanal de la ville de Bukavu à adhérer à une quelconque banque.

Tableau n° 8 : Répartition de l'échantillon du secteur de services par niveau d'importance relative à chacun de nos huit variables.

Modalités	VARIABLES															
	A		B		C		D		E		F		G		H	
	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq	Effect	Fréq
1	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	9	45%	0	0%	0	0%	1	5%
2	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	7	35%	0	0%	0	0%	1	5%
3	0	0%	0	0%	2	10%	12	60%	3	15%	0	0%	0	0%	3	15%
4	0	0%	3	15%	5	25%	5	25%	1	5%	0	0%	0	0%	6	30%
5	20	100%	17	85%	13	65%	3	15%	0	0	20	100%	20	100%	9	45%
Total	20	100%	20	100%	20	100%	20	100%	20	100%	20	100%	20	100%	20	100%

Source : Nos enquêtes sur terrain

DISCUSSION

Ce tableau indique que pour les P.M.E offrant des services dans la ville de Bukavu, le critère ancienneté de la banque, n'induit pas ces P.M.E à adhérer à une quelconque banque.

4 CONCLUSION

Le présent travail a pour objectif de permettre aux institutions bancaires de la ville de Bukavu, de définir des stratégies marketing efficaces pour l'attraction des P.M.E de la place dans le choix de telle ou telle autre banque avec laquelle elles voudront traiter.

Nous avons mené une enquête auprès de 67 P.M.E sur un ensemble de 5.522 P.M.E éparpillées dans la ville de Bukavu tous les secteurs confondus.

A l'issue de nos enquêtes, les résultats ont prouvé que les variables coût des services offerts par la banque, l'accès facile au crédit, la qualité des services offerts par la banque, la solvabilité de la banque ainsi que sa réputation sont admises par l'ensemble des P.M.E enquêtées dans nos divers secteurs comme déterminantes dans leur décision finale d'adhérer à leurs banques respectives. En revanche, la variable ancienneté de la banque ne constitue pas un critère de choix d'une banque pour l'unanimité des P.M.E enquêtées.

Compte tenu de ces révélations, nous sommes d'avis que les services de marketing de nos différentes banques devraient agir sur le coût des services offerts à leurs institutions, atténuer certaines conditions d'accès au crédit, améliorer la qualité de leurs services, fournir le maximum de garantie de solvabilité à ces entreprises ainsi que lutter pour une bonne image

(réputation) pour s'attirer beaucoup plus des clients. Par ailleurs, il serait nécessaire pour ces banques d'opter pour une politique de proximité dans le cadre de stratégies de distribution (de couverture) afin de séduire les entreprises de secteur de commerce de détail, artisanal et de services.

Enfin, les entreprises pratiquant le commerce de gros et celles offrant les services sont sensibles à la couverture nationale et internationale par les banques, pour cela, nos banques devraient s'y appliquer.

REFERENCES

- [1] ARNAULD H., Reciprocity, retrospect and prospect, journal of marketing, october 1980.
- [2] BENHABIB, Marketing bancaire et économie de marché, Revue Economique, Alger 1999.
- [3] Peter J.P et Olson J.C, Understanding consumer behaviour, Burr Ridge 1994.
- [4] VEDRINE J.P, Le traitement des données en marketing, 4^{éd.}, les éditions d'organisation, Paris 1998.
- [5] WOITRIN J., Le marketing bancaire face aux nouvelles technologies, Edition Masson, Paris 1989.
- [6] BERGER D., Les déterminants d'adhésion à une banque par les entreprises membres de l'A.F.B, revue banque édition, 2005.
- [7] COLE et al., Determinants of membership bank for Italian SMES, journal of Academy of marketing sciences, 2003.

Accès des individus aux services des institutions financières camerounaises: une analyse dans la région de l'Adamaoua

Joseph DJAOWE¹ and Bernadette MAIDAY²

¹Département d'Economie Monétaire et Bancaire,
Faculté des sciences économiques et de gestion,
Université de Ngaoundéré, Cameroun

²Doctorante et assistante,
Institut Universitaire Catholique Saint-Jérôme, Douala Cameroun

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

ABSTRACT: The access of the individuals to financial services is a key factor of the growth and economic development. The World Bank estimates in 2014, at only 12,2 % the proportion of adults who has an account in a formal financial institution. That means the majority of the people is excluded of the access of financial services. While analyzing the situation of the supply of financial services in Cameroon, this article examines the explanatory factors of the access of individuals in the area of Adamawa Region. An econometric analysis based on binary logit model shows that the access of individuals to the formal financial services is positively and significantly influenced by the level of income, the salary status and the age. However, the level of education and matrimonial status don't influence significantly the access of the individuals to the formal financial services in this part of the country. Thus, financial institutions could segment the market to propose to the individuals, financial product adapted to their level of income. In the same way, the authorities could initiate actions supporting the possession of account in formal financial institution.

KEYWORDS: Individuals, access to financial services, financial institutions, Cameroun.

RESUME: L'accès des particuliers aux services financiers est un facteur clé de la croissance et du développement économique. Au Cameroun, la Banque Mondiale estime en 2014, à seulement 12,2% la proportion de la population adulte qui possède un compte dans une institution financière. Ce qui signifie que la grande majorité des populations est exclue des services financiers. Le présent article tout en analysant la situation d'offre des services financiers formels au Cameroun, examine les facteurs explicatifs de l'accès à ces services des individus dans la région de l'Adamaoua. En utilisant un modèle économétrique de type logit binomial, les résultats montrent que l'accès des individus aux services financiers formels est positivement et significativement influencé par le niveau de revenu, le statut salarial et l'âge. Par contre, le niveau d'éducation et la situation matrimoniale n'influencent pas significativement l'accès des individus aux services financiers formels dans cette partie du pays. Ce qui suggère que les institutions financières pourraient segmenter le marché pour proposer aux particuliers des produits financiers adaptés à leur niveau de revenu, et les pouvoirs publics initier des actions favorisant la possession de compte dans une institution financière.

MOTS-CLEFS: Particuliers, accès aux services financiers, institutions financières, Cameroun.

1 INTRODUCTION

Les pays africains, dès le lendemain de leurs indépendances, se sont lancés dans la voie du développement par l'entreprise d'actions diverses. Au Cameroun, plusieurs actions gouvernementales se sont succédées, allant de la planification

du développement en 1960 au Document de Stratégie pour la Croissance et l'Emploi (DSCE) aujourd'hui. Le but étant justement de permettre à tous d'accéder aux services de base (éducation, nutrition, soins de santé etc.), et aux services financiers. Toutefois, le développement auquel aspire ce pays nécessite une croissance entretenue sur le long terme, et dont en dépend l'accès des ménages et des entreprises aux services financiers adaptés à leurs besoins, incluant les services d'épargne, de crédit et d'assurance. L'accès aux services financiers est un moyen d'accroissement du revenu des individus, leur permettant ainsi d'accéder à une large gamme de produits adaptés à leurs besoins. Cependant, la Banque Mondiale dans son rapport sur l'inclusion financière 2015, situe pour le cas du Cameroun, à seulement 12,2% la proportion des adultes qui déclarent posséder un compte, dans une institution financière (World Bank, 2015). Selon la Banque Mondiale 700 millions de personnes disposent d'un compte bancaire en 2011 et pourtant environ deux milliards de personnes ne sont toujours pas bancarisées. Cependant ce taux est très élevé dans les pays développés, atteignant les 90% pour d'autres pays tels que le Canada, la France. Ce qui nous amène à nous intéresser sur les raisons de l'exclusion financière des particuliers au Cameroun, en analysant de façon précise la situation dans l'une des régions à savoir l'Adamaoua. La problématique de l'exclusion bancaire et financière ou de l'accessibilité des particuliers aux services financiers a fait l'objet d'une importante littérature récemment (Beck et La Torre 2005, Beck, Claessens 2006, Beck, Demirguç-Kunt et Peria 2007, Gloukoviezoff 2004, Tasqué 2008).

Le présent article a pour objectif d'examiner les facteurs explicatifs de l'accessibilité des individus aux services financiers au Cameroun et plus particulièrement dans la région de l'Adamaoua¹.

Il est organisé en quatre sections. La deuxième section examine le cadre théorique de l'accès des individus aux services financiers. L'analyse empirique fera l'objet de la troisième section. Les résultats de l'estimation économétrique seront présentés et discutés à la quatrième section. La cinquième section conclura et proposera quelques recommandations.

2 CADRE THEORIQUE DE L'ACCES DES INDIVIDUS AUX SERVICES FINANCIERS

2.1 UN REGARD SUR LA SITUATION GLOBALE D'OFFRE DES SERVICES FINANCIERS AU CAMEROUN

Les services financiers sont offerts au Cameroun par diverses institutions dont : les banques commerciales, les établissements financiers n'ayant pas accès aux dépôts du public, les établissements publics à caractère financier, les institutions de microfinance, le réseau d'épargne postal (CAMPOST)² et les compagnies d'assurance. Dans le secteur financier du Cameroun, l'on compte aujourd'hui 14 banques commerciales et 418 Etablissements de Microfinance (EMF), offrant tous des services d'épargne et de crédit. A côté de ces deux types de structures sur lesquelles se base cette étude, il existe également un marché financier et de nombreuses tontines. Cependant, nous ne nous pencherons que sur les banques et les institutions de microfinance.

2.1.1 LES BANQUES AU CAMEROUN

Les données des statistiques financières du FMI nous révèlent qu'en 2013, le Cameroun disposait de 13 banques ayant 231 agences bancaires et 394 DAB (distributeurs automatiques de billets) pour une population d'environ 12 351 768 adultes (FMI, 2014). Ce qui représente un peu moins de 2 agences bancaires pour 100 000 adultes, et 3 DAB pour 100 000 habitants. Ceci suggère un faible niveau d'offre des services bancaires au Cameroun. Ces mêmes statistiques financières estiment à 1 035 042, le nombre de comptes de dépôts ouverts auprès des banques en 2013, et à 516 826 le nombre de comptes de prêts bancaires. C'est en effet seulement 83,80 comptes de dépôts en moyenne pour 1 000 adultes, et 41,84 comptes de prêts bancaires pour 1 000 adultes. Ces données sont contenues dans le tableau ci-dessous :

¹ La région de l'Adamaoua est l'une des dix régions administratives du Cameroun située entre les deux régions septentrionales et le Grand Sud (7 régions). C'est une zone essentiellement agro-pastorale, limitrophe du Nigéria et de la RCA.

² Cameroon Post. Ce secteur bien que bénéficiant d'un important réseau en milieu rural a été sinistré depuis une dizaine d'années où de nombreux petits épargnants ont perdu leur dû sans explication. Ce qui explique la perte de confiance dans ses services aujourd'hui.

Tableau n°1 : Etendue de l'offre des services bancaires au Cameroun en 2013

Agences bancaires pour 1 000 km ²	0,52	Agences bancaires pour 100 000 adultes	1,98
DAB pour 1 000 km ²	0,83	DAB pour 100 000 adultes	3,19
Dépôts bancaires échus (en % du PIB)	19,16	Prêts bancaires impayés (% du PIB)	20,63
Comptes de dépôts bancaires pour 1 000 adultes	83,80	Comptes de prêts bancaires pour 1 000 adultes	41,84

Source : *www.fas.imf.org*, traduit de l'anglais par les auteurs.

Les prêts bancaires impayés sont évalués ici à 20,63% du PIB ; il est assez important et révèle que soit les banques ne sélectionnent pas les bons clients, ou alors que le niveau de risque est élevé au Cameroun.

Aussi le système bancaire camerounais demeure-t-il faiblement développé. En effet, le *ratio* crédit au secteur privé sur PIB (crédit privé/PIB) qui permet de mesurer la taille relative du système bancaire, nous fait remarquer que, le crédit octroyé par les banques au secteur privé ne représente que 12,5% du PIB en 2011. Ce taux est évalué en 2009 à 19% en moyenne pour les pays africains, tandis qu'il se situe à 49% pour les systèmes bancaires des pays non africains (Beck et al., 2012). En outre, bien que le secteur privé soit peu financé, les prêts qu'il obtient des banques sont généralement de court et moyen termes. La structure des dépôts et prêts bancaires telle que présentée par les figures ci-dessous, nous permet de constater que les banques privilégient le court terme par rapport au long terme. En effet 73,81% des dépôts en 2011 étaient des dépôts à vue et 80,48% des prêts cette même année étaient de court et moyen termes.

Figure n°1: Structure des échéances des dépôts bancaires en 2011

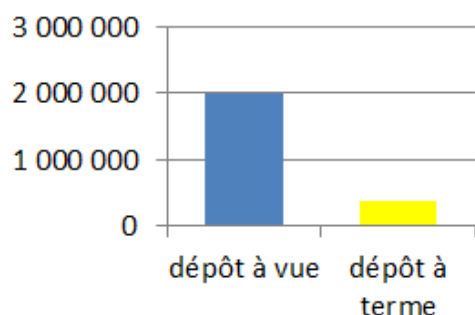
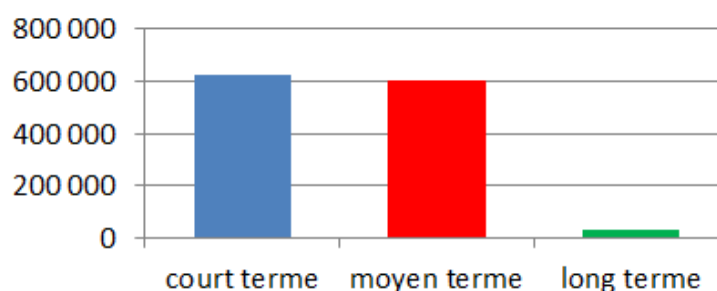


Figure n°2: Structure des échéances des prêts bancaires en 2011



Source : les auteurs à partir des données du rapport annuel de la COBAC (2011).

Malheureusement, le financement bancaire des investissements de long terme est très faible. Il peut en outre traduire le caractère risqué des investissements à long terme au Cameroun, justifiant ainsi le choix des banques de financer le court terme par rapport au long terme.

2.1.2 LES INSTITUTIONS DE MICROFINANCE

D'après le journal « le Quotidien de l'économie » publié le 18 décembre 2014, le Ministre des Finances a autorisé à exercer au Cameroun en 2015, 418 EMF qui se dénombrèrent à 509 en 2012. 123 d'entre elles seraient des EMF (Etablissement de Microfinance) indépendants de première catégorie, 38 appartiendraient à la deuxième catégorie et 4 à la troisième catégorie. Le dénombrement effectué par l'Institut National de la Statistique (INS) du Cameroun en fin 2012 permet de constater que, les EMF se situent aussi bien en zone rurale qu'en zone urbaine. Cependant, elles se concentrent

davantage dans les régions du Centre (316 agences dont 198 à Yaoundé), du Littoral (262 agences dont 221 à Douala) de l'Ouest (155 agences), du Nord-ouest (131 agences) et dans une certaine mesure du Sud-ouest (101 agences).

Les données de la COBAC³ (2012) recueillies par le CGAP⁴ montrent une certaine inégalité dans la répartition des EMF dont 52% se situent en zone urbaine, contre 48% en zone rurale. Les 509 EMF dénombrés en 2012 servaient une population de 1 500 000 clients/membres à travers 1 100 points de services. Les ressources collectées par ces établissements cette même année s'élevaient à 454 milliards de francs CFA de dépôts, et 240 milliards de francs CFA de crédits octroyés. L'évolution des dépôts et crédits octroyés par les EMF de 2002 à 2008 peut être observé à travers la courbe ci-dessous qui est une illustration du fait que, les dépôts des EMF permettent de couvrir largement les crédits octroyés. Depuis 2003, les dépôts des clients ainsi que les crédits octroyés par les EMF ne cessent de croître, traduisant ainsi, l'essor de l'activité des EMF au Cameroun.

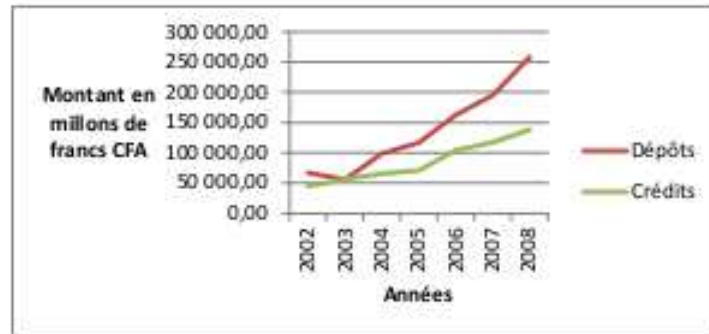


Figure n°3 : Evolution des dépôts et des crédits des EMF du Cameroun de 2002 à 2008

Source : les auteurs à partir des données du MINFI (2011)

Les agents économiques sont de plus en plus nombreux à recourir aux services des EMF au Cameroun. Les clients/membres qui se chiffraient à 331 006 en 2002, se chiffrent à 1 500 000 en 2012. En réponse à cette demande, les EMF ne cessent de multiplier les points de services. On en dénombrait 695 en 2002, 1 111 en 2007, et 1100 en 2012. L'évolution du nombre de guichets des EMF ainsi que des clients qu'ils desservent sont contenus dans le tableau ci-dessous pour la période de 2002 à 2008.

Tableau n° 2 : Nombre des EMF et clients/membres au Cameroun de 2002 à 2008

Années	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Guichets	695	749	756	879	1052	1111	983
Membres et clients	331 006	462 585	541 980	460 706	849 030	962 627	1 073 621

Source : MINFI(2011)

Malgré la multiplicité des guichets de banques et des institutions de microfinance au Cameroun, l'accès aux services financiers reste limité, la plupart des camerounais restent encore en marge de ce circuit formel. Ce qui nous a conduits à nous intéresser aux facteurs déterminant l'accès à ces services.

³ Commission Bancaire d'Afrique Centrale

⁴ Groupe Consultatif d'Assistance aux Pauvres, voir site : www.microfinancegateway.org

2.2 FACTEURS THEORIQUES DETERMINANT L'ACCES DES INDIVIDUS AUX SERVICES FINANCIERS

2.2.1 LA MESURE DE L'ACCÈS AUX SERVICES FINANCIERS

Pour apporter une vision plus claire à la notion d'accès aux services financiers, plusieurs auteurs ont tenté de donner une définition à celle-ci. Claessens (2006) parle de la disponibilité des services financiers à une qualité et un prix raisonnables. Qualité renvoyant à l'adaptabilité du service aux besoins des individus, et le prix faisant allusion au niveau du revenu moyen des individus. Peachey et Roé (2006) vont s'appuyer sur la dimension de la possibilité en précisant qu'il s'agit d'une possibilité pour un individu d'avoir un compte, d'investir, de prêter et d'assurer ses biens. Cámara et Tuesta (2014) tout comme Peachey et Roé (2006) vont parler tout simplement, de possibilité d'usage par les individus, des services financiers offerts.

Cependant, Beck et *al.* (2007) vont estimer qu'il n'est pas suffisant de définir simplement l'accès, mais qu'il est important de pouvoir le différencier de l'usage. C'est alors qu'ils vont parler de l'accès comme possibilité d'usage, et l'usage comme l'utilisation réelle des services financiers. Beck et Demirgüç-Kunt (2008) vont ajouter qu'il est également important de distinguer entre accès direct et accès indirect. Ils estiment en effet que certaines personnes utilisent les services financiers en passant par un membre de la famille ou par un ami. Et le véritable défi serait dès lors de pouvoir mesurer l'accès aux services financiers, parce que les individus peuvent avoir accès et choisir de ne pas utiliser ; ce que Claessens (2006) a appelé l'exclusion volontaire et pour qui l'idéal serait d'en tenir compte. Toutefois, il reconnaît que les données sur l'accès sont limitées et de ce fait, la différenciation entre accès et utilisation est difficile à réaliser. Il propose alors d'approximer l'accès par l'utilisation. A sa suite, plusieurs autres chercheurs vont proposer de ne pas séparer l'accès de l'utilisation (Kumar et *al.*, 2005). Ce qui justifie notre choix dans ce travail d'approximer l'accès aux services financiers par son utilisation.

2.2.2 REVUE DE LA LITTÉRATURE SUR LES FACTEURS D'ACCÈS AUX SERVICES FINANCIERS

Dans la littérature, plusieurs facteurs déterminant l'accès des individus aux services financiers ont été identifiés. Pour Beck et De la Torre (2006), les banques tout comme les autres institutions financières font face à d'importants coûts fixes dans l'élargissement de la provision de leurs services. Malheureusement en Afrique, la limite de la demande causée par la taille des économies ne permet pas de bénéficier des économies d'échelle. Et donc une banque ne sera disposée à ouvrir une agence dans une petite ville que s'il y a un marché susceptible de couvrir les coûts dont nécessite une telle opération. La présence d'un point ou d'une agence dans laquelle les dépôts, les retraits et surtout l'ouverture de compte peuvent être effectués devient ainsi un déterminant important. Puisqu'en absence de tels points, les individus n'accèdent aux services financiers qu'au prix d'un déplacement qui évidemment est coûteux. A côté des coûts fixes et économies d'échelle, Beck et *al.* (2012) soulignent les risques notamment systémiques et idiosyncratiques, qui entravent fortement la fourniture des services financiers du fait qu'ils accroissent la probabilité de défaut et élève le coût du capital. Le risque idiosyncratique est celui lié à un emprunteur/projet spécifique, et qui est non corrélé au risque systémique. Ce dernier quant à lui, est un risque non diversifiable au sein d'une économie. Il provient généralement des facteurs macroéconomiques tels que la volatilité de l'inflation et du taux de change, des insuffisances de l'environnement contractuel et informationnel (Beck et De la Torre, 2006). En effet, le risque systémique augmente le nombre d'emprunteurs/projets pour qui le crédit devient inaccessible du fait de son coût élevé, et le risque idiosyncratique rend le coût du crédit fonction de l'individu qui le demande. En outre, si les institutions financières ne disposent pas de la technologie nécessaire pour traiter lesdits risques, cela peut limiter leur capacité à servir efficacement l'économie, et même à stimuler la croissance. A cela, viennent s'ajouter les facteurs macroéconomiques tels que la qualité des infrastructures de transport et de télécommunication, du niveau de sécurité, des violences, de la structure du marché, du niveau moyen et de répartition du revenu par tête etc. (Beck et *al.*, 2008 ; Beck et *al.*, 2012).

Quant à Demirgüç-Kunt et Klapper (2012), ils pensent que les contraintes financières constituent la principale barrière à l'accès aux services financiers. Ce point de vue est largement soutenu par Beck et *al.* (2008) pour qui, le minimum de fonds propre à disposer de façon permanente dans un compte de dépôt (allant jusqu'à 50 000 au Cameroun), les frais de tenue de compte, les taux d'intérêt sur prêts, le montant minimum de prêt, constituent la contrainte majeure pour les individus. A ceci viennent s'ajouter les documents à fournir, justifiant d'un certain profil recherché par les institutions financières, mais également de garanties pour accéder au crédit. Beck et *al.* (2008) relèvent que c'est en moyenne quatre documents qu'il faut fournir pour ouvrir un compte dans une banque au Cameroun. Les études menées par Demirgüç-Kunt et Klapper (2012) confirment davantage ces résultats à savoir que, les documents à fournir constituent une importante barrière à l'accès des individus aux services financiers en Afrique. Cette exigence des institutions financières exclut de ce fait, une bonne partie de la population du système financier formel, puisque le fort développement du secteur informel absorbe une large partie de la

population rendant les individus et les entreprises de ce secteur non attractifs pour les institutions financières (Beck et Cull, 2013).

Selon certains auteurs, c'est le niveau de revenu des individus qui les empêchent d'accéder aux services financiers offerts par les institutions financières. En effet, les enquêtes menées par FinScope au Kenya en 2009 interrogeaient les non-utilisateurs des services bancaires sur les raisons de leur non-utilisation, au moyen de questions ouvertes. Plus de 60% des répondants ont avancé le manque de revenu comme principale raison. Ce qui a conduit Beck et *al.* (2012) à mentionner que : « *les individus financièrement plus aisés sont nettement plus susceptibles d'avoir recours à des services formels* ». D'où la conclusion de Beck et De la Torre (2006) selon laquelle, la demande est une fonction croissante du revenu. Ce qui nous conduit à formuler une première hypothèse à savoir :

H1 : LE NIVEAU DE REVENU INFLUENCE POSITIVEMENT L'ACCÈS AUX SERVICES FINANCIERS

La complexité et l'incompréhension liées à l'usage des services bancaires sont des raisons avancées par un certain nombre de personnes. Ces dernières pointent du doigt le vocabulaire technique (débit, crédit etc.) utilisé par la banque et la dématérialisation, c'est-à-dire le passage de la gestion des pièces et billets à la gestion d'une carte magnétique ou d'un chéquier (Gloukoviezoff, 2004). Nombre de personnes ayant des revenus insuffisants pour couvrir leurs besoins primaires, additionnées aux personnes âgées vivant en milieu rural, préfèrent gérer leur argent en liquide, mode pour lequel ils ont du savoir-faire (Tasqué, 2008). En s'intéressant de ce fait à la place de l'éducation dans l'accès aux services financiers formels, Beck et *al.* (2012) soulignent que le recours aux services financiers formels s'accroît de manière linéaire avec le niveau d'éducation. Honohan et King (2009) diront même que l'éducation augmente les chances d'être bancarisé. L'éducation est en effet l'un des déterminants le plus mentionné par la littérature (Johnson and Niño-Zarazua, 2009 ; Demirgüç-Kunt et Klapper 2012 ; Tasqué 2008). Il désigne l'aptitude d'un individu à traiter avec une institution financière. Et donc, l'on est plus à même de comprendre et de connaître la nécessité de recourir aux services des institutions financières, lorsqu'on a un niveau d'éducation élevé. Ceci est davantage vrai pour la culture financière. En outre, Beck et *al.* (2012) font mention d'une enquête de Gallup effectuée dans 18 pays d'Afrique sur la connaissance de l'existence des EMF dans la communauté par les personnes interrogées. Il y ressort que le problème de culture financière commence par la connaissance des structures offrant les services financiers formels, puisque l'enquête révèle que seulement 36% avaient connaissance de l'existence d'une EMF dans leur communauté. D'où notre seconde hypothèse à savoir :

H2 : LE NIVEAU D'ÉDUCATION INFLUENCE POSITIVEMENT L'ACCÈS AUX SERVICES FINANCIERS

La demande des services financiers formels est également influencée par des facteurs démographiques et psychologiques. Il s'agit notamment des facteurs tels que l'âge, le statut matrimonial, le sexe, la confiance dans les institutions financières, la considération de sa vie comme idéale et le sentiment d'être socialement exclu. Certaines études menées révèlent en effet que, l'âge des individus est un facteur déterminant de l'accès aux services financiers. En Ouganda par exemple, Johnson et Niño-Zarazua (2009) trouvent que les individus âgés entre 18 et 34 ans ou 45 ans et plus, sont ceux qui, faute de revenus élevés et stables, éprouvent le plus de difficultés à accéder aux services bancaires. Demirgüç-Kunt et Klapper (2012) dans la même lancée, ont identifié de telles barrières pour l'ensemble du continent africain.

Nous présentons ci-dessous, la méthode adoptée pour identifier les facteurs qui déterminent l'accès des individus aux services financiers au Cameroun et plus précisément dans la région de l'Adamaoua,

3 ANALYSE EMPIRIQUE DE L'ACCES AUX SERVICES FINANCIERS DANS L'ADAMAOUA

3.1 LES OUTILS D'ANALYSE EMPIRIQUE

L'analyse de l'accès des individus aux services financiers peut se faire à l'aide de plusieurs outils développés dans la littérature. Elle peut en effet utiliser l'analyse de la frontière des possibilités, qui est un outil permettant d'évaluer l'accès à un bien ou service sur un marché donné. Cet outil permet de déterminer le niveau maximum de la population pouvant être servie par les entreprises présentes sur un marché. Et si donc le niveau d'accès actuel n'est pas à son optimum, la frontière des possibilités permet de déceler la source de défaillance (offre, demande ou environnement économique). Et comme les institutions financières évoluent sur un marché, celui des biens et services financiers, la frontière des possibilités s'avère un outil adapté. Plusieurs études portant sur l'accès aux services financiers ont d'ailleurs utilisé cette méthode notamment Porteous (2005), Beck et de la Torre (2006) et Melzer (2006). Cependant, l'analyse de l'accès par la méthode de la frontière des possibilités ne permet pas d'identifier en profondeur les facteurs les plus significatifs et nécessite en plus, une large disponibilité de données concernant le marché étudié. Par ailleurs, des modèles économétriques peuvent être utilisés. Dans

le cadre du présent travail dont l'objectif est d'étudier l'influence d'une variable indépendante sur une variable dépendante qualitative, une régression notamment logistique, s'avère plus adaptée. C'est à partir de ce modèle que seront vérifiées les deux hypothèses à savoir H1 : le niveau de revenu influence positivement l'accès aux services financiers et H2 : le niveau d'éducation influence positivement l'accès aux services financiers.

3.1.1 VARIABLES DU MODELE ET SOURCE DE DONNEES

Les variables impliquées dans ce travail ont été mesurées de différentes manières, en fonction de leur nature. Ainsi, certaines variables sont dichotomiques (comprenant deux modalités) et d'autres polytoniques (plus de deux modalités). L'accès aux services financiers est notre variable dépendante, et le niveau d'éducation, le niveau du revenu, le statut matrimonial, le statut salarial et l'âge des individus sont les variables indépendantes. Ainsi :

- a) L'accès aux services financiers qui n'est pas directement observable, est mesuré dans ce travail par l'utilisation qui est une conséquence observable de l'accès. Nous retenons comme services financiers l'épargne et le crédit, du fait qu'au Cameroun, les services d'assurance sont encore embryonnaires, tandis que le transfert d'argent lui, est plus répandu et utilisé par les individus. Enfin de compte, accéder aux services financiers revient, soit à épargner ou à emprunter de l'argent auprès d'une institution financière (banque ou institution de microfinance) ou tout simplement à posséder un compte bancaire. Elle est une variable binaire, qui prend la valeur 1 si l'individu utilise au moins l'un des deux services (épargne et crédit) et/ou possède un compte bancaire auprès d'une institution financière, et 0 sinon.
- b) Le niveau de revenu mensuel : elle est une variable indépendante qui donne le montant en francs CFA que l'individu déclare avoir par mois.
- c) Le niveau d'éducation : c'est une variable indépendante qui donne le niveau d'étude que l'individu déclare avoir atteint. Elle présente en effet, l'aptitude de l'individu à traiter avec une institution financière.
- d) Le statut matrimonial : c'est une variable présentant la situation matrimoniale dans laquelle l'individu déclare être. Elle est dans une certaine mesure, un facteur d'obtention de prêt et/ou une raison de se constituer une épargne. Etre marié peut être une justification de la nécessité ou de la facilité d'obtention de prêt.
- e) Le statut salarial : il nous permet d'avoir une idée sur la source du revenu de l'individu, et un effet plus juste de l'influence des variables socioéconomiques pris en compte dans ledit travail. Si l'individu est salarié, cela nous permet de déduire qu'il a un employeur qui lui verse une rémunération à la fin de chaque mois, ce qui peut constituer pour lui une garantie de remboursement d'un emprunt, et par là une facilité d'obtention de prêt.
- f) L'âge : la présence de cette variable nous permet de prendre en compte le fait que les besoins prioritaires des individus varient avec l'âge. Selon la théorie du cycle de vie, Ando et Modigliani (1963), ont proposé une explication du comportement d'épargne au niveau microéconomique qui intègre l'hypothèse selon laquelle les agents décident de leur épargne par rapport à leur revenu en tenant compte de leur avenir et plus précisément leur durée de vie.

Toutes ces variables sont quantifiées par des données primaires, issues d'une enquête menée auprès des individus dans la ville de Ngaoundéré. L'échantillon auquel le questionnaire a été administré est constitué essentiellement des personnes adultes, c'est-à-dire âgées d'au moins 18 ans. Et le choix des individus de cet échantillon est basé sur la méthode d'échantillonnage aléatoire, c'est-à-dire que les individus sont pris au hasard parmi la population. En effet, l'on suppose ici que tous les individus de la population cible ont la même probabilité d'appartenir à l'échantillon.

En outre, la population cible est la population des adultes de l'Adamaoua. Les personnes qui savent lire et écrire ont eu quelques minutes pour remplir le questionnaire. Pour les autres, c'est dans un échange que les questions leurs ont été lues ou traduites en Fulfuldé⁵, conformément à leur demande. C'est ainsi que 320 questionnaires ont été administrés dont 300 exploitables et 20 rejetés, étant incomplètement remplis.

⁵ Le Fulfuldé est la langue Peulh parlée dans le Grand Nord du Cameroun par la majorité de la population

3.1.2 PRESENTATION DE L'ÉCHANTILLON ET DU MODELE ECONOMETRIQUE D'ANALYSE DE L'ACCES AUX SERVICES FINANCIERS DANS L'ADAMAOUA

L'échantillon étudié est constitué d'une population fortement masculine, constituant 73%, soit 219 hommes, et donc seulement 81 femmes, soit 27%. Ce sont des individus dont 42,7% sont âgés entre 26 et 35 ans, et dont 62,3% n'ont jamais été mariés, tel que synthétisé l'annexe 1.

La tranche de la population la moins représentée est celle âgée de plus de 50 ans, constituant seulement 4,3%, soit 13 personnes. Celle la plus représentée est âgée entre 26 et 35 ans, soit 128 personnes, suivie de celle âgée entre 18 et 25 ans, soit 116 individus.

Cet échantillon est ainsi composé de 187 individus jamais mariés correspondant à 62,3% et de 4 individus veufs soit 1,3%. Les individus mariés sont également largement représentés, soit 96 individus correspondant à 32%.

C'est donc auprès de cet échantillon que les données sont recueillies afin d'être analysées.

Nous utilisons un modèle logit spécifié comme suit :

$$ACC = Ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 REM + \beta_2 NIET + \beta_3 SIM + \beta_4 SAL + \beta_5 AGE + \varepsilon_i$$

Où ACC est le logarithme du ratio de chance associé à la valeur de Y_i (1 ou 0) d'un individu. La valeur 1 est attribuée à l'individu s'il utilise au moins un des services financiers (épargne ou crédit) et/ou possède un compte bancaire, et 0 sinon ;

P_i , la probabilité d'utiliser un service financier ;

$1 - P_i$, la probabilité de ne pas en utiliser ;

avec P_i , la probabilité associée à $Y_i = 1$ et $1 - P_i$ celle associée à $Y_i = 0$.

REM mesure le niveau du revenu de l'individu i ,

NIET mesure le niveau d'éducation de l'individu i ,

SIM mesure la situation matrimoniale de l'individu i ,

SAL la situation salariale de l'individu i ,

AGE l'âge de l'individu i , et

ε_i , le terme d'erreur.

La qualité d'ajustement du modèle se mesure à partir du pseudo- R^2 ; ici le R^2 de McFadden (R2McF). Tout comme le coefficient de détermination (R^2), le R^2 de McFadden est compris entre 0 et 1. Cependant, la qualité d'ajustement a une importance secondaire, ce qui importe sont les signes et la significativité statistique ou pratique des coefficients (Gujarati, 2003).

Aussi, la statistique du ratio de vraisemblance (LR Statistic) permet-elle de tester la significativité globale du modèle (sous l'hypothèse de nullité de tous les coefficients). Et, étant donné que le modèle s'applique à des échantillons de grande taille, la statistique Z (standard normale) est celle qui permet de tester la significativité individuelle des coefficients.

Dans le cadre du présent article, l'interprétation se fera suivant le signe du paramètre associé à la variable dépendante. Ainsi, le signe positif attendu du paramètre associé au niveau de revenu sera-t-il interprété comme une augmentation de chance d'avoir accès aux services financiers, lorsque le revenu mensuel de l'individu croît. De même, le signe positif attendu du paramètre associé au niveau d'éducation sera interprété comme une augmentation de chance d'avoir accès aux services, lorsque le niveau d'éducation de l'individu augmente.

4 RESULTATS DE L'ESTIMATION SUR L'ACCES AUX SERVICES FINANCIERS

4.1 DESCRIPTION DU COMPORTEMENT FINANCIER DES RÉPONDANTS

Du point de vue descriptif du comportement financier (épargne et emprunt) des répondants, il ressort de notre recherche que la pratique de l'épargne par les individus interrogés est aussi largement répandue, que celle de l'emprunt. Ce sont au total 246 individus qui affirment avoir déjà épargné, soit 82% de l'échantillon; et 197 individus qui affirment avoir déjà emprunté de l'argent, soit 65,7% des répondants.

En outre, le recours aux institutions financières est privilégié par 166 individus pour l'épargne, correspondant à un taux de 67,47% en faveur des banques et/ou des EMF. Un chiffre plutôt intéressant, puisque témoignant de la confiance et de l'intérêt que nombre d'individus portent aux institutions financières. Ce n'est cependant pas le cas pour l'emprunt, puisque ce ne sont que 57 individus qui ont pu obtenir un prêt en provenance d'une banque ou d'une institution de microfinance. Ce qui représente un faible taux de 28,93%, témoignant d'importantes barrières à l'accès des individus au crédit des institutions financières dans la région de l'Adamaoua. En tête de liste des barrières, se trouvent les taux d'intérêt affichés par les institutions financières, et que les individus estiment exorbitants.

Par ailleurs, les individus constituant notre échantillon semble avoir un faible niveau de revenu mensuel. En effet, à la question de savoir « Quel est votre niveau de revenu mensuel ? », ce ne sont que 27% des personnes interrogées qui ont répondu que celui-ci est supérieur à 100 000 FCFA. En outre, ce sont 156 personnes constituant notre échantillon qui affirment avoir fait des études supérieures, et 21 n'avoient jamais été à l'école.

En outre, 52% des répondants affirment avoir fait des études supérieures, et seulement 7% n'ont jamais été à l'école. Et donc 93% de notre échantillon aurait été à l'école, avec un peu plus de la moitié constituée d'individus ayant un niveau d'instruction universitaire. Ce qui n'empêche d'ailleurs pas 90,3% d'entre eux de reconnaître l'importance de traiter avec une institution financière, en y disposant par exemple d'un compte bancaire. Il en va de même de la reconnaissance par 85,7% d'individus interrogés, d'une institution financière qui serait présente dans leur localité, soit 257 répondants. En effet, à la question de savoir « Connaissez-vous une banque ou une institution de microfinance dans votre localité ? », 257 personnes interrogées ont répondu « oui ».

4.2 NIVEAU D'ACCES AUX SERVICES FINANCIERS DES REpondANTS ET INTERPRETATION DES RESULTATS DE L'ESTIMATION

Les trois premières questions portant sur le dépôt, l'emprunt et la possession de compte nous permettent de déterminer parmi les répondants, le nombre de ceux qui ont accès aux services financiers. En effet, il suffit pour un individu d'avoir eu à déposer de l'argent dans une institution financière ou d'y avoir emprunté, ou tout simplement de posséder un compte bancaire pour être classé comme ayant accès. Ce qui nous conduit à établir à 193, le nombre de répondants ayant accès aux services financiers, soit 64,33% de l'échantillon. Le tableau ci-après nous présente visiblement, le nombre de répondants qui affirment avoir traité avec une institution financière en y épargnant, empruntant ou tout simplement en y possédant un compte.

Tableau n°3 : Evaluation du niveau d'accès des répondants aux services financiers

	Oui	Non
Dépôt d'argent auprès d'une institution financière	166	134
Emprunt d'argent auprès d'une institution financière	57	243
Possession de compte bancaire	150	150
Accès aux services financiers	193	107

Source : données de l'enquête

Il est bien clair qu'il y a des individus qui épargnent sans toutefois posséder de compte bancaire (le chiffre 166 étant supérieur à 150), ce qui nous permet de mettre en évidence le phénomène d'accès indirect. Il s'agit en effet pour un individu, de recourir aux institutions financières par l'intermédiaire d'une autre personne, afin d'y déposer de l'argent par exemple. C'est donc ainsi que nous établissons à 193, tout en tenant compte de l'accès indirect, le nombre de ceux qui ont répondu « oui » à l'une des trois premières questions. C'est par conséquent, le nombre de répondants qui sont désignés comme ayant accès aux services des institutions financières, dans la présente étude.

Les résultats de la régression que nous avons obtenus sont contenus dans le tableau ci-après :

Tableau n°4 : Synthèse des résultats de la régression

Dependent Variable: ACC
 Method: ML - Binary Logit (Quadratic hill climbing)
 Date: 07/26/16 Time: 20:16
 Sample: 1 300
 Included observations: 300
 Convergence achieved after 4 iterations
 Covariance matrix computed using second derivatives

Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-0.651418*	0.395689	-1.646291	0.0997
AGE	0.401870**	0.195633	2.054203	0.0400
NIET	0.000503	0.153522	0.003273	0.9974
REM	0.357221**	0.143834	2.483556	0.0130
SAL	1.453911***	0.354458	4.101784	0.0000
SIM	0.023098	0.242601	0.095211	0.9241
McFadden R-squared		0.167411	Mean dependent var	0.643333
S.D. dependent var		0.479816	S.E. of regression	0.436210
Akaike info criterion		1.124824	Sum squared resid	55.94211
Schwarz criterion		1.198900	Log likelihood	-162.7236
Hannan-Quinn criter.		1.154469	Deviance	325.4472
Restr. deviance		390.8857	Restr. log likelihood	-195.4429
LR statistic		65.43852	Avg. log likelihood	-0.542412
Prob(LR statistic)		0.000000		
Obs with Dep=0	107	Total obs	300	
Obs with Dep=1	193			

Notes : * significativité à 10%, ** significativité à 5%, *** significativité à 1%

L'équation estimée qu'on en tire est donc la suivante :

$$ACC = -0,651418 + 0,357221REM - 0,000503NIET + 0,023098SIM + 1,453911SAL + 0,401870AGE$$

(1,64) (2,48) (0,003) (0,09) (4,10) (2,05)

Les z-statistique sont entre parenthèses.

A première vue, les résultats suggèrent une absence de multicollinéarité. En effet, la valeur de la statistique z pour chacune des variables REM (2,483556), SAL (4.101784) et AGE (2,054203) est significativement différente de zéro, associant des probabilités respectives de 0,0130 ; 0,0000 ; 0,0400 toutes inférieures à 0,05. En plus, le modèle est globalement significatif, le ratio de vraisemblance (65,43852) étant significativement différent de zéro au seuil 5%.

Les coefficients de corrélations contenus en annexe 4 nous permettent de confirmer ce résultat.

Nous constatons en effet, qu'aucun de ces coefficients n'est supérieur à 0,8. Par conséquent, nous pouvons confirmer l'absence de multicollinéarité tel que précédemment suggérée. Ce qui nous permet alors de séparer l'influence de chacune de nos variables indépendantes, sur l'accès aux services financiers.

Les résultats de l'estimation montrent que nos paramètres sont globalement significativement différents de zéro à un seuil de 1%. En effet, la valeur du ratio de vraisemblance (LR = 65,43852) qui nous permet de le déterminer a une probabilité

de 0,0000 bien inférieure à 1%. Il est certes vrai que le R^2 de McFadden est de 0,167411 cependant, celui-ci n'a qu'une importance secondaire.

Pour les 107 individus n'ayant pas accès aux services financiers, 58 individus soit 54,21% ont une probabilité estimée de non accès inférieure à 50%, 54,21% des exclus sont correctement prévus. Pour les 193 individus qui ont une probabilité supérieure à 50%, 155 individus ont effectivement accès aux services financiers. Dans 80,31% des cas, les accès aux services financiers sont correctement prévus (Annexe 3). Le modèle est donc validé sur le plan statistique

On constate également que le coefficient associé au niveau de revenu est positif (0,357221) et significativement différent de zéro au seuil de 5% ; sa statistique z (qui est de 2,483556) a une faible probabilité de 0,0130 (inférieure à 0,05). Ceci signifie que la chance d'avoir accès aux services financiers augmente avec le revenu de l'individu. **Ce qui est conforme à nos attentes, et donc nous permet de valider notre première hypothèse selon laquelle, le niveau de revenu influence positivement l'accès aux services financiers.**

Dans leur récente étude portant sur l'inclusion financière et le développement dans les pays de la CEMAC, Alter et Yontcheva (2015), montrent que sur le plan macroéconomique le revenu ne serait pas une variable discriminant le gap du développement financier entre les pays pauvres et les pays riches.

De même, le coefficient associé au niveau d'étude est positif (0,000503) mais non significatif ; sa statistique z dont la valeur est de 0,003273, est associée à une probabilité très élevée (0,9974). Ce qui nous amène à dire que le niveau d'étude n'est pas déterminant dans l'accès aux services financiers dans l'Adamaoua, résultat contraire à nos attentes. **Par conséquent, notre seconde hypothèse selon laquelle le niveau d'étude influence positivement l'accès aux services financiers est rejetée.**

Le rejet de cette hypothèse pourrait en outre suggérer que les camerounais ne basent pas leur choix d'utiliser les services des institutions financières à partir de leur aptitude à comprendre le langage que celles-ci utilisent. D'ailleurs nombreux sont ceux qui reconnaissent l'importance de posséder un compte bancaire, indépendamment de leurs niveaux d'étude tel que présenté dans le tableau ci-après.

Tableau n° 5 : Avis sur l'importance de disposer d'un compte en fonction du niveau d'étude

		Niveau d'étude				Total
		Jamais été à l'école	Etudes primaires	Etudes secondaires	Etudes supérieures	
Avis sur l'importance de disposer un compte	Important	19	28	74	150	271
	Pas important	2	9	12	6	29

Source : les auteurs à partir des données de l'enquête

Cependant Honohan et King (2009) ont trouvé une relation positive entre l'instruction financière et l'utilisation des produits et services financiers en Afrique.

L'analyse des résultats contenus dans le tableau n°4 montre également que le statut *Salarial* (1,453911) et *Age* (0,401870) sont significatifs, respectivement aux seuils de 1% et 5%. Ces deux variables influencent positivement l'accès aux services financiers des individus dans l'Adamaoua. Ce qui voudrait dire que, le fait d'être salarié augmente les chances d'avoir accès aux services financiers formels, de même que ce dernier s'accroît avec l'âge. Par ailleurs, le statut matrimonial (0,023098) n'explique pas l'accès des individus dans l'Adamaoua, aux services financiers formel ; son coefficient associant une probabilité de 0,9241 est statistiquement égal à 0.

De façon générale, nous pouvons dire que le revenu, le fait d'être salarié et l'âge augmentent significativement les chances d'un individu dans l'Adamaoua d'avoir accès aux services financiers formels.

5 CONCLUSION

Les résultats de la présente recherche mettent en exergue le fait qu'un large accès aux services financiers formels est lié avant tout à un niveau de revenu élevé. Par conséquent, il est important que le niveau de revenu par tête augmente pour voir un large public utiliser les services des institutions financières. Les actions publiques pourraient être orientées dans un premier temps, vers la réduction de la pauvreté (création d'emploi, éducation, etc.), avec pour objectif de stimuler par la suite, la participation du système financier à la croissance. L'on pourrait par exemple lier les études supérieures à la

possession de compte bancaire, et le paiement des salaires dans toutes les structures (privées comme publiques) à un virement dans un compte bancaire. Il serait également important pour les banques et les institutions de microfinance d'adapter les produits qu'elles offrent au niveau de revenu de leurs clients. Et pour cela, il est nécessaire que les institutions financières investissent dans la recherche des profils de services financiers correspondant à la demande des individus. Les institutions financières pourraient segmenter leur marché en fonction du niveau de revenu, et l'on pourrait avoir des produits de bas de gamme (faible montant et court terme) et ceux de haut de gamme (montant élevé concernant le moyen et long terme). Une autre voie pour améliorer l'accès des particuliers aux services financiers est l'utilisation des techniques de l'information et de la communication (TIC). Toutefois, la présente recherche comporte de limites. En effet, elle n'établit pas de différence entre le recours et l'utilisation des services financiers, les résultats pourraient être améliorés si l'on tient compte de l'exclusion volontaire et involontaire. De même, les données analysées ont été collectées dans la région de l'Adamaoua ; elles ne permettent pas d'extrapoler les résultats aux dix régions du Cameroun. Une piste d'amélioration pourrait être d'étendre l'analyse à toutes les régions du pays. De futures recherches pourraient également analyser les coûts d'opportunité (liés au faible niveau d'accès) ainsi que des bénéfices liés à l'élargissement de l'accès à tous.

REFERENCES

- [1] Alter A. and Yontcheva B. , Financial Inclusion and Development in the CEMAC, IMF Working Paper WP15235, 26 pages, November 2015
- [2] Ando A., and Modigliani, F., «The Life Cycle Hypothesis of Saving: Aggregate Implications and Tests», *American Economic Review*, vol.3, n° 53, pp 53-84, 1963.
- [3] Beck T. and Cull R., Banking in Africa, *Center for the studies of African economies*, Working Paper n° 16, 44 p. 2013.
- [4] Beck T. and De la Torre A., The Basic Analytics of Access to Financial Services *World Bank Policy Research*, Working Paper n° 4026, 2006.
- [5] Beck T. and Demirgüç-Kunt A., Access to Finance: An Unfinished Agenda, *World Bank Economic Review*, vol. 22, n° 3, 2008.
- [6] Beck T., Demirgüç-Kunt A and Peria M. S. M., Reaching out: Access to and use of banking services across countries, *Journal of Financial Economics* , 2007.
- [7] Beck T., Demirgüç-Kunt A., Peria M. S. M., Banking services for everyone? Barriers to bank access and use around the world, *World Bank Economic Review*, vol. 22, n°3, 2008
- [8] Beck T., Munzele Maimbo S., Faye I., Triki Thoiraya, La finance en Afrique : au-delà de la crise, *Banque Africaine de Développement*, 2012.
- [9] Cámara N. and Tuesta D., Measuring financial inclusion: a multidimensional index, *BBVA Research*, Working Paper n° 26, 2014.
- [10] Claessens S., Access to financial services: a review of the issues and public policy objectives, *World Bank Research Observer*, vol. 21, n° 2, pp. 207-240, 2006
- [11] COBAC, Rapports annuels d'activité, 2011.
- [12] COBAC, Situation du système bancaire et évolution du dispositif de supervision dans la Communauté Economique et Monétaire de l'Afrique Centrale. 16ème assemblée annuelle du comité des superviseurs de banques de l'Afrique de l'Ouest et du Centre, Conakry, 2012.
- [13] Demirgüç-Kunt A. and Klapper L. (2012), Financial inclusion in Africa, *World Bank Policy Research*, Working Paper n° 6088, 2012.
- [14] FMI, Statistiques financières internationales, Washington DC, 2014.
- [15] Gloukoviezzoff G., L'exclusion bancaire et financière des particuliers, Centre Walras, Les travaux de l'Observatoire 2003-2004, pp. 167-205, 2004.
- [16] Gujarati D. N., *Econométrie*, Traduction de la 4ème édition américaine par Bernard Bernier, PUF, 2012
- [17] Honohan P. and King M., Cause and effect of financial access: cross-country evidence from the FinScope Surveys, *World Bank Conference Washington DC*, 28 pages, March 2009.
- [18] Johnson S. and Niño-Zarazua M., Financial access and exclusion in Kenya and Uganda, *Center for Development Studies*, University of Bath, Working Paper, 25 pages, February 2009.
- [19] Kumar A., Beck T., Campos C. and Chattopadhyay S., Assessing financial access in Brazil *World Bank Policy Research*, Working Paper no 50, 92 pages, 2005.
- [20] Melzer I., How low can you go? Charting the housing finance access frontier: a review of recent demand and supply data, FinMark Trust, 2006.
- [21] MINFI, *Evaluation du secteur de la microfinance au Cameroun*, Rapport final, 2011.
- [22] Peachey S. and Roe A., Access to finance, measuring the contribution of Savings Banks *World Bank Savings Institute*, 2006.

- [23] Porteous D., The access frontier as a tool in making markets work for the Poor, *Finmark Trust*, 32 pages, 2005.
- [24] Tasqué S., *L'Etat et le « marché » face à l'exclusion bancaire des particuliers : essai d'analyse comparée des réponses apportées aux Etats-Unis et en France*, Thèse de doctorat en Sciences Economiques, Université de Paris XIII-Nord, France, 2008.
- [25] World Bank, *The Little Data Book on Financial Inclusion 2015*. Washington D.C., 2015.

ANNEXES

ANNEXE 1 : CARACTÉRISTIQUES SOCIO-DÉMOGRAPHIQUES DES RÉPONDANTS

Caractéristiques	Effectif	Pourcentage
Genre :		
• Homme	219	73%
• Femme	81	27%
Total	300	100%
Age :		
• 18-25 ans	116	38,7%
• 26-35 ans	128	42,7%
• 36-50 ans	43	14,3%
• > 50 ans	13	4,3%
Total	300	100%
Statut matrimonial :		
• Jamais marié	187	62,3%
• Marié	96	32%
• Divorcé	13	4,4%
• Veuf	4	1,3%
Total	300	100%
Statut salarial :		
• Salarié	180	60%
• Non salarié	120	40%
Total	300	100%
Niveau d'instruction :		
• Jamais été à l'école	21	7%
• Etudes primaires	37	12%
• Etudes secondaires	86	29%
• Etudes supérieures	156	52%
Total	300	100%
Niveau de revenu mensuel :		
• < 25 000 F	84	28%
• 25 000 -50 000 F	81	27%
• 50 001 – 100 000 F	54	18%
• > 100 000 F	81	27%
Total	300	100%

ANNEXE 2 : ACCES AUX SERVICES FINANCIERS

	Effectif	Pourcentage
Accès aux services :		
• OUI	193	64%
• NON	107	36%
Total	300	100%
Compte bancaire :		
• OUI	150	50%
• NON	150	50%
Total	300	100%
Epargne :		
• OUI	246	82%
• NON	54	18%
Total	300	100%
Crédit :		
• OUI	197	66%
• NON	103	34%
Total	300	100%

ANNEXE 3 : QUALITÉ PRÉVISIONNELLE DU MODÈLE

Expectation-Prediction Evaluation for Binary Specification

Equation: UNTITLED

Date: 07/26/16 Time: 21:50

Success cutoff: C = 0.5

	Estimated Equation			Constant Probability		
	Dep=0	Dep=1	Total	Dep=0	Dep=1	Total
P(Dep=1)≤C	58	38	96	0	0	0
P(Dep=1)>C	49	155	204	107	193	300
Total	107	193	300	107	193	300
Correct	58	155	213	0	193	193
% Correct	54.21	80.31	71.00	0.00	100.00	64.33
% Incorrect	45.79	19.69	29.00	100.00	0.00	35.67
Total Gain*	54.21	-19.69	6.67			
Percent Gain**	54.21	NA	18.69			

	Estimated Equation			Constant Probability		
	Dep=0	Dep=1	Total	Dep=0	Dep=1	Total
E(# of Dep=0)	51.50	55.50	107.00	38.16	68.84	107.00
E(# of Dep=1)	55.50	137.50	193.00	68.84	124.16	193.00
Total	107.00	193.00	300.00	107.00	193.00	300.00
Correct	51.50	137.50	189.01	38.16	124.16	162.33
% Correct	48.13	71.25	63.00	35.67	64.33	54.11
% Incorrect	51.87	28.75	37.00	64.33	35.67	45.89
Total Gain*	12.47	6.91	8.89			
Percent Gain**	19.38	19.38	19.38			

ANNEXE 4 : TEST DE MULTICOLINÉARITÉ DES VARIABLES EXPLICATIVES

	AGE	NIET	REM	SAL	SIM
AGE	1	-0.1133234360675452	0.2708529364398615	0.2378473131819663	0.4339219370204027
NIET	-0.1133234360675452	1	0.3571384960721389	0.2880403846293879	-0.2484184156187705
REM	0.2708529364398615	0.3571384960721389	1	0.55237876628798	0.04930078823101963
SAL	0.2378473131819663	0.2880403846293879	0.55237876628798	1	0.1205788316622926
SIM	0.4339219370204027	-0.2484184156187705	0.04930078823101963	0.1205788316622926	1

LA CULTURE STRATEGIQUE DE L'ELITE MILITAIRE CAMEROUNAISE A L'EPREUVE DE LA LUTTE CONTRE BOKO HARAM

[CAMEROONIAN STRATEGIC CULTURE OF MILITARY ELITE IN FRONT OF FIGHTING AGAINST BOKO HARAM]

Aïcha PEMBOURA

Département de science politique, Université de Yaoundé II, Cameroun

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

ABSTRACT: The study of strategic culture as a set of traditional practices and habits of thought that, in a society, governing the organization and the use of military force to serve political objectives proves important in the context Africa in general and Cameroon in particular. Indeed, when the Cameroonian elite military waged a relentless war against the Boko Haram group in Cameroon, the goal of this article is to see how constructivism through strategic culture gradually acquired by the elite since independence by through training, enabling it to conduct a difficult battle against terrorism. It appears therefore that the formation of the strategic culture of the Cameroonian military elite is marked with the seal, first the pluralism of French foreign models, including China and the US, on the other hand, the dynamics of reinterpretation of influences Foreign or invention of a hybrid type. Since independence, the Cameroonian military elite internalizes and externalizes multiple military practices that today are operationalized on the front through hybridization of strategic paradigms both internal and external and unprecedented capacity innovation against the terrorist threat.

KEYWORDS: constructivism, hybridization, terrorism, operationalization, influences.

RESUME: L'étude de la culture stratégique entendue comme un ensemble de pratiques traditionnelles et des habitudes de pensée qui, dans une société, gouvernent l'organisation et l'emploi de la force militaire au service d'objectifs politiques s'avère important dans le contexte africain en général et camerounais en particulier. En effet, au moment où l'élite militaire camerounaise mène une guerre acharnée contre le groupe boko haram au Cameroun, l'objectif de cet article est de voir grâce au constructivisme comment la culture stratégique acquise progressivement par cette élite depuis l'indépendance par le biais de la formation lui permet aujourd'hui de mener une difficile bataille contre le terrorisme. Il apparaît dès lors que la formation de la culture stratégique de l'élite militaire camerounaise est marquée du sceau, d'une part du pluralisme des modèles étrangers français, chinois et américains notamment, d'autre part, de la dynamique de réinterprétation des influences étrangères et d'invention d'un type hybride. Depuis l'indépendance, l'élite militaire camerounaise extériorise et intériorise des pratiques militaires multiples qui sont aujourd'hui opérationnalisées au front à travers une hybridation de paradigmes stratégiques à la fois internes et externes et une capacité inédite d'innovation face à la menace terroriste.

MOTS-CLEFS: constructivisme, hybridation, terrorisme, opérationnalisation, influence.

1 INTRODUCTION

Selon la perspective hobbesienne dans la science politique classique, la sécurité est au cœur de l'existence de tout Etat. La stratégie de sécurité nationale a pour objectif de parer aux risques et menaces susceptibles de porter atteinte à la vie de chaque nation. Le Cameroun comme la plupart des pays du monde ne déroge pas à cette logique. Il importe dans ce contexte de convoquer le concept de culture stratégique qui apparaît selon Lord Carnes [1] comme : « *un ensemble de pratiques*

traditionnelles et des habitudes de pensée qui, dans une société, gouvernent l'organisation et l'emploi de la force militaire au service d'objectifs politiques ». Depuis les années 70, des auteurs tels Alastair Johnston [2], Colin S. Gray [3], Colson Bruno[4] et bien d'autres ont essentiellement opérationnalisé ce concept en occident notamment en France, aux Etats-Unis, ou encore dans des pays asiatiques comme la chine et le Japon. C'est dans cette perspective que l'étude de ce concept dans un pays africain en général et camerounais en particulier est apparue comme étant particulièrement intéressant. En effet, il s'agit dans le cadre de cet article de voir comment la culture stratégique acquise progressivement par l'élite militaire camerounaise depuis l'indépendance par le biais de la formation lui permet aujourd'hui de mener une âpre lutte faite d'échecs mais aussi de beaucoup de victoire contre boko haram. Le concept d'élite étant entendu comme un groupe minoritaire de personnes ayant, dans une société une place éminente due à certaines qualités valorisées socialement¹. La problématique posée a été construite autour de la question fondamentale qui est celle de savoir comment se déroule le processus d'acquisition de la culture stratégique par l'élite militaire camerounaise et comment s'opérationnalise-t-elle sur le terrain de la lutte contre boko haram ? A la suite de cette problématisation, l'hypothèse principale suivante a été élaborée :

La formation de la culture stratégique de l'élite militaire camerounaise est marquée du sceau, d'une part du pluralisme des modèles étrangers, d'autre part, de la dynamique de réinterprétation des influences étrangères ou d'invention d'un type hybride. Depuis l'indépendance, l'élite militaire camerounaise extériorise et intériorise des pratiques militaires qui sont aujourd'hui opérationnalisées sur le front de la lutte contre boko haram à travers une hybridation de paradigmes stratégiques à la fois internes et externes et une capacité inédite d'innovation face à la menace terroriste.

Pour vérifier cette hypothèse, la méthode de collecte des données axée à la fois sur l'enquête documentaire d'une part et l'enquête de terrain d'autre part nous a semblé opportune. En effet, la recherche documentaire a consisté à analyser les documents émanant d'institutions et d'organismes publics ou privés d'une part, et de données statistiques disponibles d'autre part. Sur le terrain, l'entretien centré ou *focused interview* a été adopté comme méthode de collecte de données. Par cette méthode, il n'est souvent pas question de disposer de questions préétablies comme dans l'enquête par questionnaire, mais d'une liste de points précis relatifs à notre objet d'étude.

Les données ainsi collectées sont ensuite passées au crible d'une analyse sociologique au travers du constructivisme.

L'opérationnalisation du constructivisme s'est présentée dans ce contexte comme étant particulièrement pertinent. Etant entendu que cette méthode permet de comprendre la manière dont les réalités sociales et les phénomènes sociaux sont « construits » c'est-à-dire la manière dont ces phénomènes sont conçues, créés, transformés et institutionnalisés. Le constructivisme structuraliste en particulier est né de la volonté de Pierre Bourdieu [5] de dépasser l'opposition fréquente en sociologie entre le structuralisme qui affirme la soumission de l'individu à des règles structurelles) et le constructivisme (qui fait du monde social le produit de l'action libre des acteurs sociaux).

L'« habitus » dans ce contexte est apparu comme étant fondamental dans la sociologie de Bourdieu. Il désigne sous ce terme l'ensemble des goûts et des aptitudes acquis par un individu au cours du processus de socialisation. Il reproduit quand il est confronté à des situations habituelles et il peut être conduit à innover quand il se trouve face à des situations inédites. L'habitus du militaire est donc un ensemble de dispositions durables acquis par ce dernier au cours du processus de socialisation. Cette dernière se déroule grâce au levier de la coopération à travers les écoles militaires camerounaises et étrangères, par l'adhésion du pays à la tendance actuelle de globalisation sécuritaire avec son lot de partenariat, d'échanges et autres partages d'expériences en matière stratégique.

Sur le plan international, les constructivistes tels Peter Katzenstein [6], Martha Finnemore [7], Niagalé Bagayoko Penone[8] pensent que toutes sortes d'acteurs étatiques et non étatiques sont en concurrence pour faire prévaloir certaines normes et établir des organisations plus formelles afin de propager des arrangements sociaux précises.

Cet article est à partir de ce qui précède élaborée autour de la dialectique de l'extraversion et de l'introverson dans la formation de la culture stratégique de l'élite militaire camerounaise. Cette culture appropriée, capitalisée, se matérialise dans le cadre de la lutte conte boko haram et s'évalue par le professionnalisme, la maturité et l'efficacité opérationnelle de l'élite militaire camerounaise.

¹ Lire à ce propos : Pareto, V. 1968, *Traité de sociologie générale*, in *Œuvres complètes*, vol. XII, Paris ; Aron, R. 1960, « *Classes sociales, classe politique, classe dirigeante* », *Archives européennes de sociologie*, n° 2, p. 267 et Genieys, W. 2011, *sociologie politique des elite(s)* », armand colin — collection u. sociologie.

2 LA DIALECTIQUE DE L'EXTRAVERSION ET DE L'INTROVERSION DANS LA FORMATION DE LA CULTURE STRATEGIQUE DE L'ELITE MILITAIRE CAMEROUNAISE

Cette partie met en exergue la dialectique de l'extraversion et de l'introversion dans l'acquisition d'une culture stratégique camerounaise.

2.1 LA TENDANCE LOURDE DE LA FORMATION DE LA CULTURE STRATEGIQUE CAMEROUNAISE : L'HERITAGE COLONIAL AU BENEFICE ET AU SERVICE DE LA NATIONALISATION

Depuis l'indépendance, la culture stratégique de l'élite militaire camerounaise s'est fondamentalement inspiré du modèle colonial, notamment français et anglais. Aussi, selon le constructivisme structuraliste la socialisation s'accompagne naturellement d'un processus de réappropriation. C'est dans ce contexte que l'Ecole Militaire Interarmées du Cameroun vera le jour.

2.1.1 LA FRANCE ET L'ANGLETERRE : DES PARTENAIRES HISTORIQUES DU CAMEROUN EN MATIERE DE FORMATION DES OFFICIERS A L'ETRANGER

Ce chapitre décrypte la contribution, de l'indépendance à nos jours, de l'école française et anglaise à la formation de la culture stratégique camerounaise. Il s'agit de la première génération des influences occidentales au Cameroun. Cette génération qu'il est convenu d'appeler génération coloniale débute avec la colonisation et se poursuit après l'indépendance dans le cadre de la coopération entre le Cameroun et la France d'une part, le Cameroun et l'Angleterre d'autre part.

2.1.1.1 LA RELATIVE HEGEMONIE DE L'ECOLE FRANÇAISE DANS LA FORMATION DES OFFICIERS CAMEROUNAIS

La France grâce à sa position dominante a opéré une subtile violence symbolique par le processus de socialisation des officiers camerounais à sa façon de faire, de penser et d'agir. La France a été le premier partenaire du Cameroun en matière de formation des officiers camerounais à l'étranger dès 1960. Les années 70 marquent le début effectif des offres de formation de plusieurs autres pays en direction du Cameroun (Bureau Formation Initiale et Formation Continue/Direction Ressources Humaines/Ministère de la Défense (BFIFC/DRH/MINDEF)). Il s'agit en l'occurrence des Etats-Unis, de la Grèce, de l'Espagne, de la Belgique. Les pays comme Israël, l'Allemagne et le Maroc interviendront quant à eux dans les années 80 et l'Algérie dans les années 90 ainsi que les pays africains abritant les Ecoles Nationales à Vocation Régionale (ENVR) comme le Sénégal, le Togo, le Mali ou encore le Maroc. La Chine quant à elle ne va intervenir dans le champ des offres de formation militaire en direction du Cameroun que dans les années 2000 (BFIFC/DRH/MINDEF) tandis que l'Egypte et l'Inde interviendront à partir de 2013 (MINDEF).

Entre 1958 et 1969, les nationaux camerounais sont admis dans les grandes écoles et établissements militaires français, soit par concours dans les mêmes conditions que les nationaux français, soit dans la limite d'un contingent particulier. Dans l'immédiat, pour hâter la formation des cadres camerounais désignés par le gouvernement, ils peuvent être admis comme stagiaires dans les grandes écoles et établissements militaires français ; le gouvernement français prenant à sa charge les frais d'instruction y afférents (Onana Mfege, 2006 : 98-99)[9]. La France s'est activement impliquée dans la mise en place sur le plan local des écoles d'officiers. En effet, elle a participé à la mise en place de l'Ecole Militaire Interarmées du Cameroun (EMIAIC) et l'Ecole Supérieure Internationale de Guerre (ESIG). A la création de cette dernière en 2005², elle n'était pas une ENVR mais était entièrement à la charge du Cameroun (Pemboura, 2007) [10]. En partenariat avec la France, dès la rentrée académique 2007-2008, cette grande école est devenue une école nationale à vocation régionale (ENVR), la troisième au Cameroun - avec le Pôle Aéronautique de Garoua³ et le Centre de perfectionnement au maintien de l'ordre d'Awaé ; l'Afrique comptant au total 15 ENVR. Aujourd'hui, fruit d'un partenariat bipartite entre le Cameroun et la France, l'Ecole Supérieure Internationale de Guerre de Yaoundé est l'unique école francophone de formation des élites militaires dans le cadre de l'enseignement militaire supérieur du second degré en Afrique subsaharienne. Elle matérialise le plus haut niveau de formation sur un parcours d'officiers. Concrètement, l'on peut dire d'après les statistiques obtenues auprès du Ministère de la Défense (MINDEF), 60 officiers environ de la gendarmerie nationale sont formés en moyenne sur une période de trois ans

² Décret N°2005/015 du 13 janvier 2005 portant organisation de l'enseignement militaire supérieur

³ Ecole de pilotage créée en 1999.

dans les écoles militaires françaises ; 40 dans l'armée de l'air, 16 dans l'armée de terre, 6 dans la marine nationale, et 60 dans les multiples Ecoles Nationales à Vocation Régionale (ENVR) qui existent en Afrique (BFIFC/DRH/MINDEF).

Force est de constater de ces chiffres qu'au cours de ces dernières décennies, la France a mis beaucoup plus l'accent sur la formation des officiers de la gendarmerie (33%) et de l'armée de l'air (22%) sur son territoire ; la formation des officiers de l'armée de terre (9%) et la marine nationale étant marginale (3%). Cependant, il faut préciser que depuis 2013, la France apporte une aide spécifique au Cameroun en matière de lutte contre le terrorisme. *Selon Christine Robichon ambassadrice de France au Cameroun ces soutiens spécifiques concernent d'abord le renseignement. Le renseignement est essentiel dans la lutte contre le terrorisme, le renseignement coûte cher parce qu'il nécessite des moyens aériens, des moyens humains, des capacités particulières. Des formations spécialisées sont également fournies par la France au Cameroun en réponse aux besoins particuliers d'une lutte contre le terrorisme à l'instar des formations en déminage des engins explosifs improvisés.*

2.1.1.2 LA MODESTIE DE LA COLLABORATION MILITAIRE ANGLO-CAMEROUNAISE EN MATIERE DE FORMATION MILITAIRE DEPUIS 1960

Historiquement, le Cameroun britannique (ou Cameroons) fut administré par la colonie britannique du Nigeria oriental jusqu'en 1954. Quelques étudiants furent envoyés étudier au Nigeria et au Royaume-Uni ; étant donné l'enseignement au Cameroun britannique qui se faisait en langue locale. Le référendum va permettre aux populations de choisir entre l'intégration au Nigeria et la réunification avec le Cameroun français. Le 1^{er} juin 1961, le Kamerun nord devient indépendant et rejoint le Nigeria. Le 1^{er} octobre 1961, le Cameroun sud devient indépendant et rejoint la République du Cameroun. Dans le domaine de la coopération militaire, l'intervention de la filière anglaise dans la formation des officiers camerounais va véritablement commencer dans les années 1980 (BFIFC/DRH/MINDEF).

En effet, la filière anglaise de formation des officiers est une destination qui a toujours été et qui reste aujourd'hui peu fréquentée par les camerounais. Dès 1980, quelques militaires camerounais se sont formés au Royaume-Uni. Il faudra attendre 1988 pour voir les militaires camerounais bénéficier pendant un certain temps et avec une relative régularité de places de formation dans les écoles militaires anglaises en tant que citoyens camerounais. On peut citer parmi ces officiers, le Lieutenant-colonel Mbou⁴ qui sera formé à l'école militaire de Sandhurst entre 1988 et 1990 et le Colonel Dzou Lucien au Commando Training Center toujours entre 1988 et 1990 (Entretien avec Colonel Metogo⁵, 03/06/2011). Depuis lors, cette destination restera marginale. L'on comprend de ce fait que son impact et son apport soient négligeables dans le processus de formation de la culture stratégique de l'élite militaire camerounaise.

2.1.2 LA NATIONALISATION DE L'HERITAGE COLONIAL PAR L'ELITE MILITAIRE CAMEROUNAISE

Grâce à l'héritage culturel colonial reçu par les camerounais et entretenu par le colonisateur dominant de première génération qu'est la France, le Cameroun a pu opérationnaliser sa capacité de réappropriation et d'invention. Ceci à travers la mise en place d'une école militaire sous le modèle français (1) mais progressivement nationalisée et contextualisée selon les nécessités camerounaises (2).

2.1.2.1 L'ECOLE MILITAIRE INTERARMEES DU CAMEROUN (EMIA) ET LA TRANSMISSION D'UN MODELE CULTUREL FRANÇAIS A LA CREATION

Dès la création de l'EMIA, un parrainage français s'est effectué de 1961 à 1986, date à laquelle ses structures seront nationalisées. Le premier commandant : le lieutenant Lefevre et les premiers instructeurs et chargés d'études seront dans un premier temps d'origine française. Ceci conformément à l'accord militaire de 1974 entre le Cameroun et la France selon lequel, le gouvernement de la République Unie du Cameroun peut s'adresser à celui de la République française pour la formation des cadres de ses Forces armées (Décret n° 75-1154 du 8 décembre 1975 portant publication de l'accord de coopération militaire entre le Gouvernement de la République française et le Gouvernement de la République Unie du Cameroun)⁶. Cette école sera ensuite enrichi par d'autres modèles culturels étrangers mais surtout modélisé en dernier ressort à la camerounaise.

⁴ Il est aujourd'hui à la retraite.

⁵ Ancien chef de Division de la Coopération Militaire du MINDEF.

⁶ In journal officiel de la République française, 17 décembre 1975.

2.1.2.2 DE L'EXIGENCE D'UNE CAMEROUNISATION DES STRUCTURES DE L'EMIAAC

Dès 1967, un officier supérieur camerounais, le Lieutenant-Colonel Etoundi Ekotto Edouard, brillant officier formé à l'école militaire de Saint Cyr en France va occuper pendant 3 années cette prestigieuse position consacrée jusque-là à des officiers d'origine française et va ainsi ouvrir le bal du commandement de l'école par des officiers camerounais. L'EMIAAC est une illustration palpable et concrète de l'habitus. Ce dernier est perçu comme un ensemble de comportements et d'attitudes conformes aux inculcations et aux régularités objectives produisant une extériorisation de l'intériorisation (Bonnewitz, 2005 :72) [11]. Grâce à l'héritage colonial culturel reçu par les camerounais et entretenu par le colonisateur dominant de première génération qu'est la France, le Cameroun a pu opérationnaliser sa capacité d'appropriation et d'invention.

Par conséquent, les camerounais qui prennent ensuite la direction de l'école lancent une tentative d'introversion de l'héritage colonial à travers la mise en œuvre à l'EMIAAC d'un modèle culturel camerounais par le biais d'un programme d'enseignement de qualité inspiré du modèle français mais adapté aux nécessités locales. En effet, le programme d'enseignement dans un premier temps est essentiellement militaire et pratique, ensuite les enseignements généraux seront progressivement intégrés non seulement pour que l'armée apporte son soutien au développement, mais aussi pour renforcer l'unité nationale à travers des cours d'histoire, de géographie et de géopolitique dès l'indépendance. De même les cours de défense nationale et de géopolitique de la défense préparent théoriquement les élèves-officiers à assurer la défense et la sécurité aux frontières du territoire national. L'EMIAAC s'est également progressivement doté d'un corps professoral militaires et civils compétent (Entretien avec Colonel Etoundi Bikoé⁷).

3 LA POROSITE DE LA CULTURE STRATEGIQUE CAMEROUNAISE ET UNE SUBMERSION DES FAÇONS DE FAIRE AUTRES

Avec l'indépendance, le Cameroun a adhéré aux idéaux de l'Organisation des Nations Unies (ONU) et de l'Union Africaine (UA). Il s'est par conséquent ouvert au monde. La culture stratégique camerounaise se forme ainsi dans un contexte de porosité des frontières culturelles qui la modélise forcément dans le même sens. Dès lors, l'on assiste à une transnationalisation des cultures stratégiques notamment chinoises et américaines qui ont réussi depuis leur entrée à s'imposer au Cameroun. De même, la mondialisation de l'insécurité entraîne elle aussi une globalisation de la sécurité, qui amène les Etats, y compris le Cameroun, dans la mise en place de leur sécurité nationale à prendre en compte la sécurité globale.

3.1 LA TRANSNATIONALISATION DES CULTURES STRATEGIQUES : LES INFLUENCES CHINOISES ET AMERICAINES AU CAMEROUN

Le Cameroun a une dizaine d'années après l'indépendance opté pour d'autres trajectoires de formation des militaires camerounais à l'étranger. C'est dans ce contexte que les filières chinoises et américaines se sont illustrées et contribuent avec force aujourd'hui à l'enrichissement de la culture stratégique camerounaise.

3.1.1 LE CONCOURS DE LA CHINE A LA FORMATION DE LA CULTURE STRATEGIQUE CAMEROUNAISE

La Chine est depuis 1974 un partenaire stratégique du Cameroun en matière militaire. Ses offres de formation sont d'après le Bureau Formation initiale et Formation continue de la direction des ressources humaines du MINDEF sans cesse croissantes depuis 2000. Actuellement elle est le pays qui offre la majorité de places en matière de formation militaire au Cameroun après la France. Depuis que la Chine est partenaire du Cameroun en matière de formation militaire, l'on constate que ses offres de formation vont croissant au fil des ans (BSFIFC : MINDEF). Pour mieux visualiser le grand bond en avant fait par la Chine en matière de formation militaire par rapport à beaucoup d'autres pays, par ailleurs partenaires traditionnels du Cameroun dans ce domaine, il importe de revoir les offres de formation de cet Etat au Cameroun dans toutes les armées et sur une période de trois ans en moyenne. En suivant cette fréquence, la France forme 16 officiers Camerounais dans le cadre de l'armée de terre tandis que la Chine forme 66 officiers camerounais sur la même période et dans la même arme. Dans le domaine de l'armée de l'air, 40 officiers camerounais sont formés en moyenne en France, 28 en Chine tandis que l'on peut compter 21 au Maroc, 2 en Grèce⁸ sur une période de trois ans. En ce qui concerne la marine nationale : 35 à 40 officiers

⁷ En service au Commandement des Ecoles et Centres d'Instruction Interarmées (COMECIA), il est un ancien élève officier de l'EMIAAC et fait également partie de la première promotion (1986-1987) des Diplômés de l'Enseignement Supérieur (DES).

⁸ Ce sont également des pays qui forment les officiers camerounais dans le domaine de l'armée de l'air.

camerounais sont formés en Chine et seulement 6 en France. La France devance la Chine entre autres parce qu'elle forme en moyenne 60 officiers camerounais dans le domaine de la gendarmerie nationale sur trois ans, tandis que la Chine ne connaît pas ce corps d'armée, autrement dit ne forme pas les camerounais dans ce domaine. La France a mis sur pied une politique d'ENVR qui lui permet de rapprocher les officiers africains au plus près de leurs réalités locales, tout en leur offrant une formation purement « à la française ». Cela accroît encore plus le nombre de militaires camerounais formés par les français, soit 60 officiers camerounais sur trois ans en moyenne dans toutes les ENVR à travers l'Afrique. La Chine quant à elle, a pour ambition d'aller toujours plus loin dans le sens de sa coopération bilatérale avec le Cameroun dans le domaine militaire.

3.1.2 LA CONTRIBUTION DE LA CULTURE AMERICAINE A LA FORMATION D'UNE CULTURE STRATEGIQUE CAMEROUNAISE HYBRIDE

Les années 70 seront marquées au Cameroun par la diversification des filières de formation des militaires camerounais à l'étranger. Il comptera à partir de ce moment parmi ses nouveaux partenaires, la Grèce, l'Angleterre, l'Espagne, la Belgique ainsi que les Etats-Unis (Pemboura, 2007) [10]. Les Etats-Unis apportent dans le cadre d'une collaboration bilatérale avec le Cameroun, leur concours à la formation des officiers camerounais au Cameroun et à l'étranger. A l'EMIAAC par exemple, les Etats-Unis ont créé un laboratoire de langue anglaise destiné à améliorer le niveau des officiers camerounais et l'usage des standards américains (Njako, 2005)[12]. Il s'agit au mieux d'enseigner aux officiers camerounais l'Anglais opérationnel tel qu'il est utilisé par les forces Américaines. Bien que cette aide serve aussi les intérêts américains au Cameroun⁹, force est de reconnaître que cet apport culturel peut être enrichissant et constructif pour le pays. Dans les faits, l'envoi des troupes américaines au Cameroun dans le cadre de la lutte contre Boko Haram ne représente qu'une évolution dans le type d'appui apporté au Cameroun par les Américains. Dans cette lutte, l'assistance américaine se traduit en termes de formation, notamment au déminage et au désamorçage des bombes portées par les kamikazes. Au-delà de cette assistance, les Etats-Unis comme beaucoup d'autres pays amis contribuent traditionnellement à la formation des officiers camerounais à l'étranger. Bien qu'ils ne soient pas parmi les pays qui offrent le plus de places aux officiers camerounais en matière de formation militaire comme la France et la Chine, ils ont tout de même un apport non négligeable qui a comme vecteur de transmission la formation militaire. Globalement d'après les informations obtenues à la direction des ressources humaines du MINDEF, sur une période de trois ans, les Etats-Unis forment 4 camerounais dans le domaine de l'armée de Terre, 2 dans l'armée de l'Air et 3 dans la Marine nationale. La gendarmerie nationale quant à elle n'est pas connue aux Etats-Unis sous la même forme qu'au Cameroun. Il s'agit en fait pour les américains d'une Unité de police à l'exemple du Groupement Spécial des Opérations (GSO) au Cameroun. Cette unité forme aussi 2 camerounais sur une période de trois ans.

3.2 GLOBALISATION SECURITAIRE ET SECURITE NATIONALE DU CAMEROUN

La sécurité nationale du Cameroun passe par la prise en compte de la sécurité globale et régionale, ceci dans un contexte où une submersion des manières de faire, de penser et de sentir autres donne un visage métissé au concept national de la sécurité.

3.2.1 LA SECURITE NATIONALE DU CAMEROUN PAR LA PRISE EN COMPTE DE LA SECURITE GLOBALE ET REGIONALE

L'Etat, détenteur du monopole de la violence physique légitime, est le garant de la sécurité nationale mais reste conscient qu'une sécurité nationale efficace n'est actuellement possible que par la prise en compte de la sécurité globale. Le politique au Cameroun tient compte dans l'élaboration de sa sécurité nationale de l'évolution du contexte sécuritaire international ainsi que de la situation de la sécurité prise dans sa globalité. Depuis des décennies, la transnationalisation de l'insécurité due à la porosité des frontières que le Cameroun partage avec des Etats qui ont longtemps vécus des conflits internes (le Tchad) ou encore ceux qui sont encore en proie à une instabilité qui perdure (Centrafrique, Nigeria) oblige à aborder la sécurité sous cet aspect. L'insécurité transfrontalière au Cameroun n'est pas nouvelle puisque le pays fait face depuis les années 80, particulièrement dans ses zones frontalières avec le Tchad et la Centrafrique à une prolifération des bandes armées de rebelles, de trafiquants divers et de bandits de grands chemins encore appelés « coupeurs de route » (Issa, 2007) [13]. Depuis quelques années, cette insécurité a non seulement muté mais surtout s'est étendue à la frontière avec le Nigeria, d'où proviennent les terroristes de Boko Haram qui recrutent dans leurs rangs des camerounais désœuvrés et en perte de

⁹Selon Alexis Nzeugang, le Cameroun s'intègre dans ce que Philippe Hugon (2005 :405) appelle les deux principes guidant l'aide américaine en Afrique. C'est-à-dire « le *shaping* (façonner l'Afrique aux normes et standards américains) et la *civilisation* (développer les forces démocratiques) » (Nzeugang, 2007).

repères. Dans un contexte d'interdépendance propre à la mondialisation, les normes sécuritaires globales ont aujourd'hui pour principale caractéristique de remettre en cause la norme internationale de souveraineté des Etats. Penser globalement la sécurité représente donc un véritable défi, tant sur l'élaboration d'une stratégie commune de lutte que sur les possibilités d'une interopérabilité efficace des forces. L'approche des acteurs de la sécurité et au premier rang desquels l'Etat doit s'illustrer par le caractère global des réponses. Le point commun des acteurs est de proclamer la vocation universelle des normes sécuritaires diffusées. Les promoteurs de ces normes considèrent le plus souvent qu'elles ne sont en rien issues des modèles de société spécifiques mais qu'elles reflètent les éléments essentiels pour une transition réussie de la tyrannie et du sous-développement vers une société libre et prospère. Les normes ne sont pas censées refléter des traditions et une culture unique mais être intrinsèquement communes à toutes les sociétés (Bagayoko et Hours, 2005 : 16) [14]. L'Etat est dès lors envisagé comme un acteur social dont le comportement est régi par un ensemble de règles communautaires et de conventions, elles-mêmes façonnées par les interactions entre les différentes unités qui composent la société internationale¹⁰. L'on comprend que l'Etat du Cameroun évolue dans un contexte international qui l'oblige à faire avec les autres ou encore à tenir compte des autres bien que préservant toujours ses intérêts. De cette manière, le Cameroun se retrouve noyé et submergé dans une certaine façon de faire propre aux Etats qui dès leur indépendance font partie d'une organisation mondiale d'Etats indépendants appelée ONU, partageant dans une large mesure les mêmes idéaux. Pour des raisons contextuelles et historiques, le Cameroun est amené à se mettre au diapason des Etats les plus proches et influents. Malgré ces submersions de façons de faire, de penser et de sentir autres, il garde tout de même sa capacité de décision et d'invention dans un milieu où la coopération internationale est souhaitée et favorisée dans un souci non seulement de valorisation de la diversité et de la complémentarité des points de vue, mais aussi de renforcement de sa propre sécurité.

La notion de sécurité globale correspond aussi au concept américain de *Homeland Security* qui est né de cette prise de conscience de repenser sa sécurité en des termes plus globaux - associant problématiques de sécurité intérieure et enjeux stratégiques internationaux. Dans cette perspective, il y a lieu de dire que la culture stratégique camerounaise continue sa formation et son enrichissement dans un contexte de globalisation sécuritaire. Le caractère hybride de cette culture est dans ce cadre tiré de multiples apports extérieurs et relève également de nouvelles filières de formation des officiers camerounais à l'étranger en l'occurrence la française, la chinoise et l'américaine, produit d'un dépassement des frontières étatiques en matière sécuritaire.

Par ailleurs, les changements en matière de normes internationales ont affecté la conception stratégique des opérations de maintien de la paix. Ces mêmes normes influent aujourd'hui non seulement sur les comportements adoptés par les militaires africains sur le terrain mais également sur leurs conceptions du politique ainsi que sur leurs itinéraires socioprofessionnels (Bagayoko et Hours, 2005 : 269) [14]. Les militaires camerounais se sont familiarisés dans ces conditions aux OMP dans des zones de tension à travers le monde et même dans des écoles de formation aux OMP telles : le Centre Pearson pour le maintien de la paix au Canada, l'Ecole de Maintien de la Paix (EMP) de Bamako au Mali ou encore le Centre International *Kofi Annan* pour le *Maintien de la Paix*(KAIPTC) au Ghana. Ils sont devenus dans ce cadre des éléments de la diplomatie préventive qui s'exprime à travers le maintien et le rétablissement de la paix et intériorisent davantage par ce canal des valeurs de paix, de sécurité humaine et de démocratie. Mais ces valeurs pacifiques sont aujourd'hui éprouvées par Boko Haram. L'engagement de ces militaires porteurs d'une identité et d'une culture spécifique sur la scène internationale s'inscrit dans la défense du Cameroun et des pays voisins victimes de Boko Haram contre l'intrusion d'autres valeurs inappropriées.

3.2.2 UNE SUBMERSION DES MANIERES DE FAIRE, DE PENSER ET DE SENTIR AUTRES

Sur le champ international, on assiste à un formatage de la lecture des formes d'insécurité souvent au détriment d'une lecture politique des environnements locaux (Bagayoko et Hours, 2005) [14]. D'après ces auteurs, les acteurs locaux ne rejettent ou n'ignorent pas systématiquement les normes introduites. On assiste au contraire à des phénomènes de réinterprétation originaux. Les acteurs du Sud, loin d'être des récipiendaires passifs ayant souvent tendance à exploiter à leur profit la constitution de réseaux informels (publics/privé, civil/militaire) sont favorables à la disparition des processus bureaucratiques de contrôle politique. Ces phénomènes de réappropriation locale du discours sécuritaire global concernent aussi bien les Etats que les groupes et les individus. Dans cette perspective lorsque le Cameroun a adhéré à la communauté internationale en tant qu'Etat indépendant, il a souscrit à une certaine façon de faire propre aux Etats dominants de cette

¹⁰ Voir à ce propos : Glenn Chafetz et al. *The Origins of National Interests*. Michael Spirtas et Benjamin Frankel (eds). *The Origins of National Interests*. London and Portland, Frank Cass, 1999.

communauté. Dans cette perspective, dès 1960, il a fait son entrée dans cette communauté, a entamé son processus de socialisation à travers son identification à l'autre et a intériorisé au fil du temps des façons de faire autres en matière de sécurité entre autres. Parallèlement il a développé une forte capacité d'innovation et d'invention, il a ainsi eu la possibilité de mettre en œuvre une sécurité nationale, produit des expériences externes mais également résultat définitif d'une perception camerounaise de la sécurité découlant fortement du contexte sécuritaire national.

4 LA LUTTE CONTRE BOKO HARAM AU CAMEROUN : ENTRE PROFESSIONNALISME ET EFFICACITE OPERATIONNELLE DE L'ELITE MILITAIRE CAMEROUNAISE

L'on va constater que l'élite militaire camerounaise pétris d'une culture stratégique métissée, riche et solide développe depuis le début de la lutte contre le terrorisme au Cameroun un professionnalisme, une maturité et une efficacité opérationnelle enviable en Afrique. Le professionnalisme de cette armée peut se lire de la réorganisation du maillage territorial à la mise en place avec succès d'un nouveau paradigme d'intervention.

4.1 REORGANISATION DU MAILLAGE TERRITORIAL, PROFESSIONNALISME ET RENFORCEMENT DES CAPACITES LOGISTIQUES DE L'ARMEE CAMEROUNAISE

Il sera ici question de revisiter les grands principes du professionnalisme militaire, de voir les enjeux de la réorganisation militaire territoriale et le renforcement de la logistique opérationnelle dans le cadre de la lutte contre Boko Haram au Cameroun.

4.1.1 UN PERSONNEL MILITAIRE PROFESSIONNEL, BIEN FORME ET DISCIPLINE

Comme on a pu le constater jusqu'ici, l'élite militaire camerounaise est bien formée. Rappelons quelques grands principes du professionnalisme militaire que respectent les forces de défense camerounaises et qui contribuent à leurs succès opérationnels : la discipline, la subordination des forces armées à l'autorité démocratique civile, l'allégeance à l'Etat de droit, la neutralité politique, et une culture éthique institutionnelle. Ces principes sont intégrés dans les valeurs qui caractérisent les actions du soldat professionnel telles que discipline, intégrité, honneur, engagement, service, sacrifice et devoir (Ouedraogo, 2014) [15]. A titre d'illustration des militaires camerounais formés à l'EMIAC et ailleurs sont actuellement sur le terrain de la lutte contre la menace terroriste. En effet, cinq nouveaux généraux de brigade de moins de 60 ans sont actuellement impliqués dans la lutte contre Boko Haram dont deux issus de la promotion de 1985 de l'EMIAC baptisé « Rigueur et moralisation ». Il s'agit en l'occurrence du Général de brigade Jacob Kodji, 53 ans qui est le commandant de la 4e Région militaire interarmées (RMIA 4) où se trouve l'épicentre de la menace. Il est par ailleurs commandant de l'opération Emergence 4 et le colonel Joseph *Nouma*, ancien *commandant* des Bir delta puis des Bir côte est le *commandant de l'opération Alpha* à l'extrême-nord du pays. De même, le Général de brigade Frédérik Djonkep, 55 ans, est le commandant de la 3e Région militaire interarmées (RMIA 3), deuxième ceinture de sécurité après la RMIA 4. Le Général de brigade Valère Nka, 59 ans, est l'adjoint au commandant de la Force multinationale mixte (FMM) de lutte contre Boko Haram de la Commission du Bassin du lac Tchad. Le Général de brigade Bouba Dobekreo, 57 ans, est le commandant du premier secteur de la Force Multinationale Mixte basée à Mora. L'on peut à travers ces nominations constater une accélération de la réforme de l'armée engagée depuis 2001 avec un rajeunissement évident de l'élite militaire pour plus de célérité et d'efficacité sur le terrain.

4.1.2 UNE STRATEGIE DE COMBAT GAGNANTE : LA REORGANISATION DU MAILLAGE TERRITORIAL DE LA DEFENSE

Forte de 60.000 hommes, l'armée camerounaise est une force conséquente pour faire face à la menace terroriste. L'organisation en quatre régions militaires interarmées (RMIA), est un véritable atout aujourd'hui dans la lutte contre la nébuleuse terroriste. En effet, la région militaire interarmées n°3 (RMIA3) a été éclatée en deux entités. Celle-ci a donné naissance à une autre région militaire interarmées. Le maillage territorial a ainsi été réorganisé par la création de la 4e Région militaire interarmées. Les secteurs militaires terrestres ont changé de dénomination et sont devenus des secteurs militaires, qui sont des subdivisions des RMIA. Ainsi, toutes les composantes des armées se reconnaissent désormais dans les secteurs militaires. Cela se voit d'ailleurs sur le terrain. Au poste de combat fortifié de Kolofata, par exemple, on y retrouve le BIR (Bataillon d'intervention rapide), le Bataillon blindé de reconnaissance (BBR), le Régiment d'artillerie sol-sol (RASS), la gendarmerie nationale, la Direction Générale de la Recherche Extérieure avec une mission unique la sécurisation du territoire et des populations (Ottou, 2016) [16]. Cette réorganisation a permis au haut commandement de disposer de forces plus réactives, plus proches de la menace afin d'accroître la synergie des actions militaires. Les responsabilités opératives et

tactiques sont ainsi comprimées pour réduire les délais décisionnels. Il était nécessaire de palier à un dispositif trop rigide pour contrecarrer un adversaire qui change sans cesse de physionomie. Le nouveau dispositif se veut donc souple et rapide.

4.1.3 RENFORCEMENT DE LA LOGISTIQUE OPERATIONNELLE ET STRATEGIQUE DE L'ARMEE CAMEROUNAISE

Depuis le début de la guerre contre boko haram, la puissance de feu du Cameroun a triplé. Les matériels en service récent ou un peu plus ancien, bien que performants ont été renforcé par de nouvelles acquisitions. En effet, le pays compte aujourd'hui au moins 80 chars d'assaut de différents types ainsi que plusieurs centaines de véhicules blindés. Sur le terrain des opérations, plusieurs modèles baptisés aux noms de certaines localités frontalières (Makari, Banyo, Darak, Waza, Fotokol, Kolofata, ...) sont d'ailleurs en activité (Ottou, 2016)[16]. La République fédérale d'Allemagne a également renforcé ce dispositif en offrant au Cameroun 120 véhicules tactiques le 19 novembre 2014 pour soutenir le pays dans la lutte contre le terrorisme. Il s'agit en l'occurrence de soixante jeeps Wolf et de soixante camions «Unimog» de marque Mercedes, dont certains sont armés de quadri tubes de 14,5 mm. Ces véhicules ont fait leurs preuves sur des théâtres d'opérations militaires comme l'Afghanistan. La Russie également s'est inscrite dans cette dynamique en s'engageant à fournir au Cameroun des armements sophistiqués de dernière génération. cette livraison devrait comprendre des pièces d'artillerie, y compris l'artillerie de missiles, du matériel de protection aérienne, un système anti-aérien de missiles et de canons, des camions blindés entre autres équipements et armements. Six Mi-24, hélicoptères de combat russe, devraient être réceptionnés ce 12 octobre (Ottou, 2016) [16]. Certains de ces engins seront mis à la disposition de l'opération Alpha qui traque Boko Haram dans l'Extrême-Nord pour compléter les Mi-17 déjà engagés dans cette guerre. Ces Mi-17 ont été livré en 2013 par Rosoboron export, l'agence d'exportation d'armement russe. Face à un ennemi pouvant facilement se confondre à la population, le pays a aussi dû améliorer ses moyens de collecte du renseignement.

En effet, les drones utilisés par les forces de défense camerounaises permettent de recueillir des renseignements sur les positions nigérianes des islamistes du groupe armé nigérian Boko Haram. Ce sont des drones capables d'envoyer des coordonnées instantanées. Lorsque les coordonnées permettent de localiser les positions de Boko Haram au Nigeria et que l'on est sûr qu'il n'y pas de civils, l'assaut est lancé à travers des frappes d'artillerie notamment. Les frappes s'inscrivent dans le cadre d'"actions préventives" pour anticiper sur d'éventuelles incursions et attaques de Boko Haram en territoire camerounais. Le Cameroun a en sa possession plusieurs drones dans le cadre de la lutte contre boko haram mais il s'agit essentiellement des drones d'observations (« Le Cameroun utilise des drones d'observation dans la lutte contre Boko Haram », 2015) [17].

Effectivement, la DGRE (Direction générale de la recherche extérieure) et le Bir (Bataillon d'intervention rapide) se sont dotés de moyens de surveillance dernier cri. On parle de drones d'observation, de senseurs et de matériels d'écoute ou d'interception des communications. Dans la dernière livraison des avis de marchés du Pentagone, il apparait que le Cameroun est en train d'acquérir un système d'aéronef sans pilote de type Scan Eagle d'une valeur de 9 millions 396 mille 512 dollars US soit près de 47 milliards de francs CFA. Le dispositif qui est accompagné de station de contrôle au sol, de systèmes d'exploitation de la vidéo et de l'équipement de soutien sera installé à Douala et devrait être fonctionnel en septembre 2016 (Ottou, 2016) [16].

4.2 LE CAMEROUN DANS LA LUTTE CONTRE BOKO HARAM ET LE SUCCES D'UN NOUVEAU PARADIGME D'INTERVENTION

Il est question ici essentiellement de faire le constat de l'efficacité de la « coopération bilatérale militaire » contre boko haram. Cependant, il faut dire que malgré les efforts louables de l'armée camerounaise pour venir à bout des menaces auxquelles elle est confrontée, un certain nombre de problèmes doivent être résolus pour davantage de victoires opérationnelles.

4.2.1 L'EFFICACITE DE LA « COOPERATION BILATERALE MILITAIRE » CONTRE BOKO HARAM

Malgré la montée en puissance de la force multinationale mixte soutenue par l'Union Africaine, les Etats-Unis et la France, l'amélioration et l'évolution dans la coopération entre les pays de la Commission du Bassin du Lac Tchad, qui renvoient toutes à des modes classiques d'intervention avec leurs lots de contraintes et de difficultés, il faut dire que c'est un nouveau nouvel exemple d'intervention qui a fait la différence sur le terrain. C'est « Une coopération bilatérale militaire et opérationnelle », dictée par l'urgence de la menace qui s'est révélée être plus rapide, efficace et infaillible sur le terrain de la lutte contre boko haram. En effet, une coopération militaire et bilatérale a rapidement pu se mettre en place et être effective sur le terrain dès 2014 entre le Cameroun et le Tchad d'une part, le Tchad et le Nigéria d'autre part, et le Cameroun et le Nigéria par la suite. Selon une source militaire française dans la région, le groupe aurait perdu 70% de ses territoires depuis 2015 (« Lutte contre Boko Haram: comment la coopération militaire a fonctionné », 2016)[18].

Depuis 2015, les efforts militaires du Cameroun et de ses alliés de la région dans leur lutte contre Boko Haram commencent à porter leurs fruits. Affaibli, le groupe terroriste recule depuis plusieurs mois mais constitue toujours une forte menace. Militairement, face à la pression de l'armée camerounaise au sol et dans les airs, ajoutée à celle des forces alliées tchadiennes, nigérianes, et nigériennes aux frontières camerounaises, Boko Haram ne semble plus en capacité de mener des offensives coordonnées d'envergure, mais continue de multiplier les opérations kamikazes très meurtrières. En effet, bien que le risque d'attentat suicide semble être mieux maîtrisé, il est toujours par essence très difficile à appréhender. L'année 2016 semble donc marquer un tournant dans la lutte contre cette nébuleuse terroriste bien qu'il faille attendre au moins dix ans pour venir à bout d'une telle insurrection selon des sources militaires françaises.

4.2.1.1 LE SUCCES DE LA COOPERATION BILATERALE SUR LE TERRAIN

4.2.1.1.1 UNE COOPERATION BILATERALE CAMEROUN-TCHAD FRUCTUEUSE

L'armée tchadienne est intervenue au début de l'année 2015 pour épauler l'armée camerounaise soumise à une pression croissante de boko haram dans la région de l'extrême-nord du Cameroun. L'appui des forces armées tchadiennes auprès des forces armées camerounaise s'est avéré fructueux car cela a permis à l'armée camerounaise de reprendre un nouveau souffle après de longs mois de bataille acharnée contre boko haram pour la défense de l'intégrité territoriale du pays. Baptisé «Logone 2015», l'opération bilatérale Cameroun - Tchad avait également été commandé par le général Kodji. Les troupes tchadiennes ont ensuite pénétré en territoire nigérian pour libérer les zones frontalières. Idriss Déby avait alors critiqué la passivité de l'exécutif et de l'armée nigériens, notamment de l'ancien président Goodluck Jonathan. Le président tchadien se plaignait notamment que les troupes nigérianes ne venaient pas sécuriser les villes reconquises par l'armée tchadienne, laissant de nouveau le champ libre aux insurgés (« le président du Nigéria salue l'engagement de l'armée tchadienne contre boko haram », 2016) [19].

4.2.1.1.2 LE SUCCES DE LA COOPERATION CAMEROUN-NIGERIA DEPUIS L'ELECTION DE BUHARI

La coopération bilatérale a fait la différence sur le terrain. Le rapprochement diplomatique entre le Cameroun et le Nigeria depuis l'accession à la présidence de Muhammadu Buhari, il y a un an, a par exemple aidé les armées à faire reculer Boko Haram. Cette coopération s'est renforcée dans un premier temps par le biais d'une meilleure communication entre les troupes nigérianes et camerounaises de part et d'autre de la frontière. L'artillerie camerounaise a ensuite été mobilisée pour appuyer des opérations menées par l'armée nigériane à proximité de la frontière avec le Cameroun. Une autre étape a été franchie depuis : les soldats camerounais ont mené plus d'une demi-douzaine d'offensives en territoire nigérian ces derniers mois. Les opérations «Arrow» en février ont ainsi permis de chasser les insurgés islamistes de Goché et Kumché, elles ont mobilisé pas moins de mille soldats camerounais avec en première ligne les éléments du bataillon d'intervention rapide, l'unité d'élite. C'est dans ce contexte qu'un officier camerounais a affirmé que « *La force mixte multinationale nous donne un mandat pour agir, mais c'est surtout au niveau bilatéral et au niveau des forces spéciales que l'on fait la différence sur le terrain* » (« Lutte contre Boko Haram: comment la coopération militaire a fonctionné », 2016) [18].

4.2.2 LES FAIBLESSES STRATEGIQUES ET OPERATIONNELLES DES FORCES DE DEFENSE CAMEROUNAISES

L'armée camerounaise malgré un certain nombre de succès engrangés au front doit absolument pallier à un certain nombre de faiblesses pour être plus efficace. En effet, le Cameroun manque de centres de formations spécialisés locaux dans l'armée de l'air et la marine (pilotes, spécialistes, personnels de soutien, mécaniciens etc..). La dépendance vis-à-vis de l'étranger demeure donc importante dans ces domaines. De même, sur le plan opérationnel, l'équipement individuel du combattant (ex : moyens de communication tactique (radios), portes-chargeurs, réservoirs d'hydratation) ne devrait pas lui faire défaut pendant la bataille. L'urgence en matière de défense au Cameroun réside en réalité dans la rédaction rapide d'un livre blanc qui seul permettra d'enraciner les récents succès et les acquis en matière de défense dans le développement du Cameroun sur le long terme. Aussi le vote d'une loi de programmation militaire qui permettrait de fixer le développement des forces armées dans la durée est-elle recommandée (Cherisey, 2015) [20].

5 CONCLUSION

Il a été question tout au long de cet article de comprendre comment le processus de formation de la culture stratégique de l'élite militaire camerounaise enclenchée depuis six décennies s'est construite dans la durée à travers de multiples trajectoires de formation au Cameroun et à l'étranger. Cette culture stratégique éprouvée aujourd'hui par boko haram s'opérationnalise au front de la lutte contre le terrorisme par un métissage de pratiques opérationnelles et tactiques.

REFERENCES

- [1] Carnes, L. 1985, *American Strategic Culture*, Comparative Strategy, Volume 5.
- [2] Johnston, A. 1995, "thinking about strategic culture". *International security*. Volume 19. Number 4. pp 32-64.
- [3] Gray, C. S. 1999, "Strategic culture as context: The first generation for theory strikes back". *Review of international studies*. Volume 25.
- [4] Colson, B. 2006, "La culture stratégique française" www.stratisc.org (Consulté le 20 décembre 2006) ; Colson, B. 2006, « La culture stratégique américaine, l'influence de Jomini », Bibliothèque Stratégique dirigée par Lucien Poirier et Hervé Coutau-Bégarie, www.stratisc.org (Consulté le 02 Février 2006).
- [5] Bourdieu, P. 1980, *Le sens pratique*, Paris, Editions de Minuit.
- [6] Katzenstein, P. J. 1996, "Introduction: Alternative Perspectives on National Security" in Katzenstein P. J. (ed.). 1996, *The Culture of National Security. Norms and Identity in World Politics*, New York: Columbia University Press, p. 1-33, p. 23.
- [7] Finnemore, M. "constructing Norms of Humanitarian Intervention", in Katzenstein, P. 1996, *The cultural of national security*. Columbia university press. New York.
- [8] Bagayoko, N. 2008, «La culture du Maintien de la Paix et la formation militaire des Armées Ouest-africaines », *Revue internationale de sociologie*, tome 18, numéro 1.
- [9] Onana Mfege, A-H. 2006, *Les Camerounais et le Général de Gaulle*, Paris, l'harmattan.
- [10] Pemboura, A. 2007, « *Le processus de formation de la culture stratégique camerounaise : analyse du rôle des écoles militaires* », Université de Yaoundé II, Mémoire du Master II en science politique.
- [11] Bonnewitz, P. 2005, *Première leçon sur la sociologie de Pierre Bourdieu*, France, PUF, 2^{ème} édition.
- [12] Njako, F. 2005, « Les forces de défense camerounaises et leurs missions internationales », *HONNEUR ET FIDELITE, Magazine des Forces de Défense camerounaises*, Numéro spécial.
- [13] Issa, S. 2007, « La prise d'otages aux confins du Cameroun, de la Centrafrique et du Tchad. Une nouvelle modalité de banditisme transmigrant », Polis. *Revue Camerounaise de sciences politiques*.
- [14] Bagayoko, N. et Hours, B. 2005, *Etats, ONG et production des normes sécuritaires dans les pays du Sud*, Harmattan, décembre, 313 pages.
- [15] Ouédraogo, E. 2014, « Pour la professionnalisation des forces armées en Afrique », Papier de recherche du Centre d'études stratégiques de l'Afrique N° 6, <http://africacenter.org>
- [16] Ottou, O. 2016, « Cameroun: Armée, l'effet Boko Haram », <http://www.journalintegration.com>
- [17] « Le Cameroun utilise des drones d'observation dans la lutte contre Boko Haram », 17/02/15, africatime.com (AFP)
- [18] « Lutte contre Boko Haram: comment la coopération militaire a fonctionné », rfi Afrique, <http://www.rfi.fr>, 14-05-2016
- [19] « le président du Nigéria salue l'engagement de l'armée tchadienne contre boko haram » <http://www.nouvelledeguinee.com>, 2016.
- [20] CHERISEY, E. 2015, « l'armée camerounaise est une force équilibrée », www.camer.be

Effet de l'application du biochar et de la litière d'*Acacia mangium* sur la culture du maïs en Alley cropping au plateau de Batéké / RDC

[Effect of the application of biochar and *Acacia mangium* litter on maize in Alley cropping in Bateke plateau / DRC]

Max MUNGYEKO MAYOLA¹, Jean LEYOLY², and Jules ALONI KOMANDA³

¹Faculté des Sciences Agronomiques, Université Kongo, Mbanza Ngungu, RD Congo

²Département de Biologie des organismes, Faculté des Sciences, Université Libre de Bruxelles, Belgique

³Département de Géosciences, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, RD Congo

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

ABSTRACT: The management of sandy soil in Bateke plateau to feed Kinshasa population in continued growth, is one of the problems that arises in this urban peripheral agriculture. Agroforestry in time, alternating trees and crops on the same land was used as technical means to increase fertility and production. However, agricultural practice in the long term at Bateke plateau showed that agroforestry was not able alone to ensure continuity of production on the same land. In this study, we tested the effect of biochar associated with litter from an agroforestry system could have on improving maize production in Bateke plateau. We observed that forty one and five months respectively after application of biochar and litter maize production was influenced favorably. Among all combinations of biochar doses (0, 2, 4 and 8 kg / m²) and *Acacia mangium* litter doses (0, 5, 10 and 20 t / ha), the combination of 4 Kg / m² of biochar with 20 t / ha of litter was the best with 2019 kg / ha of maize cobs with spathe. Moreover, the presence of the clipped hedge has had an effect on the stems and maize cobs differently on plants in his neighborhood and those in the middle of the experimental plot.

KEYWORDS: Biochar, litter, *Acacia mangium*, agroforestry, soil management, Bateke Plateau, maize.

RESUME: La gestion des sols sableux du plateau de Batéké, en vue de nourrir la population kinoise en croissance continue, est l'un des problèmes qui se pose à l'agriculture de ce milieu périurbain. L'agroforesterie dans le temps, alternant arbres et cultures sur un même sol, a été utilisée comme moyen technique pour augmenter la fertilité et par ce fait la production. Cependant, la pratique agricole de longue durée au plateau de Batéké a montré que cette agroforesterie n'a pas été capable à elle seule d'assurer la continuité de la production sur un même terrain. Dans cette étude, nous avons testé l'effet que le biochar associé à la litière provenant d'un système agroforestier pouvait avoir sur l'amélioration de la production du maïs au plateau de Batéké. Nous avons observé que 41 et cinq mois après les applications respectivement du biochar et de la litière la production du maïs a été influencée favorablement. De toutes les combinaisons de doses du biochar (0, 2, 4 et 8 kg/m²) et de la litière d'*Acacia mangium* (0, 5, 10 et 20 t/ha), la combinaison de 4 Kg/m² de biochar avec 20t/ha de litière a été la meilleure avec 2019 kg/ha d'épis spathés de maïs. De plus, la présence de la haie tondue a eu de l'effet sur les tiges et les épis de maïs de manière différente sur les plantes de son voisinage et ceux du milieu de la parcelle expérimentale.

MOTS-CLEFS: Biochar, litière, *Acacia mangium*, Agroforesterie, gestion des sols, Plateau de Batéké, maïs.

1 INTRODUCTION

La RDC dispose d'énormes étendues de terres de savane qui représentent 32,7 % du territoire national (MECN-DD et al., 2005). Une grande partie de la population de la RDC vit dans ces espaces et n'ont que ces savanes pour subvenir non seulement à leurs besoins alimentaires mais également aux besoins alimentaires des villes voisines (Van Wambeke, 1996). Tel est le cas du plateau de Batéké qui est un immense territoire de savane (9000 km²) modelé par le passage de feu de brousse périodique. Ces formations géologiques des Batéké s'étendent de la RDC jusqu'au sud-est du Gabon en passant par le Congo-Brazzaville. En RDC, ce plateau occupe une superficie d'environ 7000 km² à l'avant plan du plateau de Kwango à une centaine de kilomètres au sud-est de Kinshasa [1]. Situé en périphérie de la ville de Kinshasa, il est devenu le siège d'intenses activités agricoles dont le but est de nourrir la ville qui compte à ces jours plus de huit millions d'âmes [2]. En effet, actuellement, ces sols sont bradés par des agriculteurs fortunés de Kinshasa qui y pratiquent une mécanisation itinérante malgré les moyens y consacrés.

Or, ces savanes sont développées sur un sol sableux (>90% de sable) du groupe de Kalahari ayant subi en plus la rigueur de la pédogenèse ferrallitique dont le produit final est l'argile du type kaolinite à faible pouvoir de rétention cationique, pauvre, sec et lessivé par les grandes pluies qui caractérisent les régions tropicales, de la plupart des éléments nutritifs mobiles tels que le nitrate et le potassium [3]. Dans ces conditions, l'efficacité de l'application des fertilisants minéraux par ailleurs est peu envisageable et trop onéreuse pour les ruraux. C'est donc ces sols pauvres, fragiles et à fertilité fugace qu'il importe de gérer avec parcimonie techniquement voire scientifiquement [4], pour subvenir aux besoins alimentaires des populations. Cette intervention devra permettre de limiter sinon supprimer l'itinérance agricole pour quête des terres fertiles, pratique courante sous les tropiques qui rend non rentable la mise en place d'infrastructures communautaires (écoles, dispensaires,...) et s'attaque aux forêts existantes, prétendument plus fertiles [5].

C'est dans le but de rendre l'agriculture, actuellement itinérante, rentable et durable dans cette région et la protéger contre des dégradations plus poussées encore qu'une solution efficace et économiquement faisable a été recherchée. Ainsi, l'agroforesterie avec des légumineuses a été utilisée au plateau de Batéké pour gérer les problèmes de durabilité de la fertilité des sols à travers la litière qu'elle apporte et la fixation d'azote.

Le terme agroforesterie désigne les systèmes d'utilisation des terres et les pratiques dans lesquelles les plantes ligneuses vivaces sont délibérément intégrées aux cultures agricoles et / ou à l'élevage, par une association spatiale ou selon une séquence temporelle, pour une variété de bénéfices et de services [6], [7]. Des espèces d'*Acacia* ont été mises à profit pour ce faire dans une agroforesterie temporelle alternant arbres et cultures. Cependant, comme le bénéfice de la matière organique ainsi apportée est rapidement estompé à la suite de sa rapide minéralisation sous les conditions tropicales (température et humidité élevées), seulement une infime quantité de cette matière organique est stabilisée dans le sol sous forme d'humus pour une durée relativement longue. Cet humus sera ensuite progressivement envoyé dans l'atmosphère sous forme de CO₂ [8].

Dans ces conditions, il est souvent difficile de faire plus d'une culture après la coupe des arbres [9]. Le biochar (charbon de bois) a été reconnu capable de contribuer à la gestion de la fertilité de sol et à soutenir la production agricole [10], [11] ; à la suite de la découverte de la grande fertilité des sols anthropogéniques du bassin amazonien du Brésil, appelés *terra preta* qui contenaient ce matériel [12], [9]. Voilà pourquoi le biochar, matériel carbonisé provenant de la combustion incomplète des matériels organiques et contenant des composés aliphatiques et aromatiques, a été utilisé dans nos essais. Le but de cette étude était de tester si le biochar joint à la litière dans un contexte agroforestier avait le pouvoir d'améliorer la production agricole au plateau de Batéké, spécialement celle du maïs qui est très exigeante en fertilité.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 DESCRIPTION DU MILIEU D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée de mars à juin 2013 au site d'Ibi village, compris entre 4°20' et 5°80' de latitude Sud et 15°50' et 16°20' de longitude Est et à 642 m d'altitude sur le plateau des Batéké. Ibi village est située sur la nationale n°1 Kinshasa-Kikwit, à 125 km du centre-ville de Kinshasa dans la commune de Maluku [13].

Sur ce site, l'entreprise Novacel a installé un puits de carbone agroforestier de plus de 1800 ha. Les sols du plateau des Batéké sont de texture sableuse fine. Ils appartiennent au groupe de sables ocres de Kalahari dont la teinte varie par endroits. Les sols sont classifiés comme Rubique Ferrallitique Arenosol (Dystique) selon le système de classification WRB (IUSS Working group WRB, 2006) ; comme quartzipsamment ustoxique Isohyperthermique suivant Soil Taxonomy (Soil

survey staff, 2006). La couche arable de ces sols affiche une composition granulométrique moyenne de 3,4 % d'argile, 5,6 % de limon et 91,0 % de sable. Leur valeur agricole est très limitée à cause de leur faible capacité d'échange cationique ($CEC < 3 \text{ méq}/100\text{g}$), de rétention d'eau et donc un niveau de fertilité chimique très bas. Sans intervention extérieure, le rendement chute dès la seconde culture après la première mise en valeur, ensuite il faut une jachère d'au moins dix ans pour supporter de nouveau une culture [13], [14]. Malheureusement en RDC, la majorité de nos populations n'ont que ces sols, qui ne peuvent pas supporter plus de deux cultures successives, pour emblaver (Van Wambeke, 1996).

Le climat de la région est tropical humide du type AW_4 selon la classification de Köppen : avec une saison sèche de quatre mois sans pluies (juin à septembre), une saison pluvieuse (novembre à avril); mai et octobre constituant des mois de transition (Figure 1). Les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 1500 mm réparties sur une centaine de jours, la température moyenne mensuelle est de 24°C avec une humidité relative moyenne de 80%. La végétation est dominée par des savanes herbeuses à *Digitaria longiflora* et *Hyparrhenia diplandra* et arbustives à *Hymenocardia acida*, *Crossopteryx febrifuga*, *Bridelia ferruginea* (Nsielolo, 2016) [15].

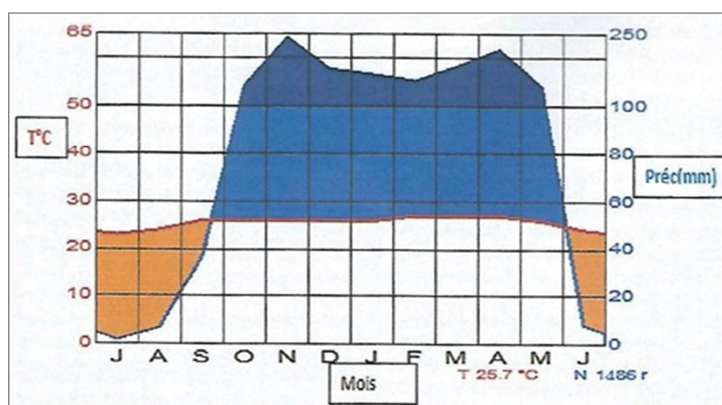


Figure 1. Diagramme ombrothermique de la station de Mbankana

2.2 DESCRIPTION DES MATÉRIELS UTILISÉS

Les matériels suivants ont été utilisés :

- les graines de maïs de la variété SAMARU jaune ont été semées aux écartements de 1 m x 0,4 m à raison de 3 graines par poquet ;
- les plants d'*Acacia mangium* ont été plantés en ligne sous forme de haie aux écartements de 4 m x 1 m depuis deux ans et demi et tondus à 1 m de hauteur et 0,5 m de large à chaque début de saison culturale. Les émondages ainsi obtenus ont été épandus uniformément sur toutes les parcelles ;
- le biochar/ charbon de bois (appelé aussi agrichar) a été fabriqué avec le bois d'*Acacia auriculiformis* âgé de 5 ans dans un four en terre suivant le procédé traditionnel et empirique, qui peut être classifié dans le type conventionnel de pyrolyse lente à température ne dépassant pas 350°C à 400°C [16];
- la litière d'*Acacia mangium* récemment tombée et faiblement décomposée (nature et origine reconnaissables).
- le biochar et la litière ont été appliqués séparément : respectivement 41 mois et 5 mois avant la culture du maïs en expérimentation.

2.3 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL UTILISÉ

L'expérience a été conduite en agroforesterie en alley cropping avec des haies d'*Acacia mangium*. Le précédent cultural était fait de deux cultures de manioc et d'une culture de maïs. Le dispositif expérimental était en split plot avec comme parcelle principale le niveau de dose de charbon de bois (biochar) et comme sous parcelle le niveau de dose de la litière d'*Acacia mangium*. Les traitements de parcelles principales sont respectivement C0=aucun charbon de bois (témoin), C1= $2\text{kg}/\text{m}^2$ de charbon de bois, C2= $4\text{kg}/\text{m}^2$ de charbon de bois et C3= $8\text{kg}/\text{m}^2$ de charbon de bois ; ceux des sous parcelles sont L0 = sans litière (témoin), L1= 5 tonnes/ha de litière, L2= 10 tonnes/ha de litière et L3= 20 tonnes/ha de litière. La dimension

de sous parcelles était de 5 m x 4 m et celle de parcelles principales de 10 m x 8 m. Le dispositif comprenait trois répétitions et couvrait une superficie de 40 m x 24 m (Figure 2).

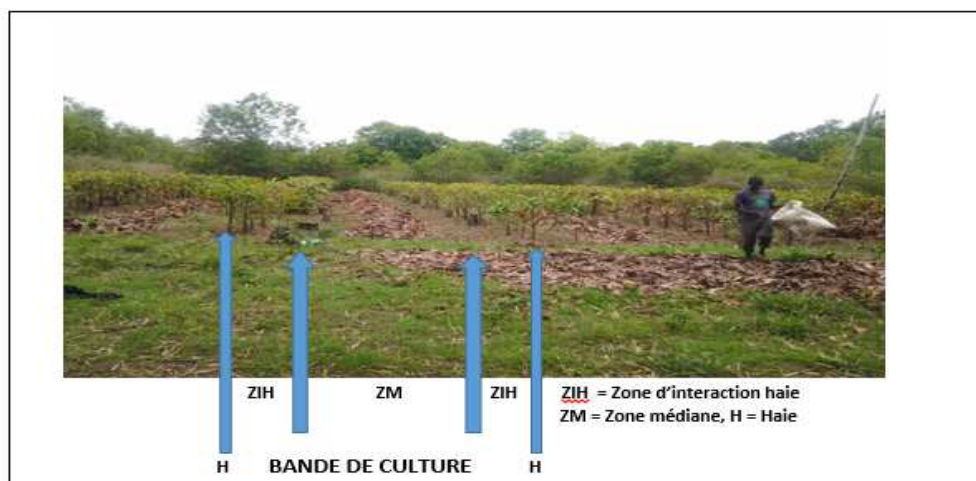


Figure 2. Parcelle expérimentale en Alley cropping tondue à 1 m de haut et 0.5 m de large

2.4 OBSERVATIONS RÉALISÉES

Les observations ont été réalisées sur des pieds non adjacents au vide choisis de manière aléatoire sur les parcelles expérimentales. Le taux de sondage était de 10% à la récolte. Les observations suivantes ont été réalisées sur les plantes :

- La biomasse utile médiane (BUM) : fait référence aux épis de maïs sec avec spathes récoltés dans les lignes au milieu de la parcelle de culture. Elle est exprimée en kg/ha ;
- La biomasse utile en interaction (BUI) : concerne les épis de maïs sec avec spathes récoltés dans les lignes de la parcelle de culture voisines aux haies d'*Acacia mangium*. Elle est exprimée en kg/ha ;
- La biomasse aérienne médiane (BAM) : se rapporte aux tiges et feuilles de plants de maïs récoltés dans les lignes au milieu de la parcelle de culture. Elle est exprimée en kg/ha ;
- La biomasse aérienne en interaction (BAI) : fait référence aux tiges et feuilles de plants de maïs récoltés dans les lignes de la parcelle de culture voisines aux haies d'*Acacia mangium*. Elle est exprimée en kg/ha ;

Toutes les biomasses ont été pesées à la récolte du maïs à l'aide de la balance à ressort de 100 kg, après trois mois de culture.

2.5 ANALYSE STATISTIQUE UTILISÉE

L'ensemble des données a été soumis à une analyse de variance à deux critères de classification. Une comparaison multiple Post-Hoc des moyennes selon le test de Fisher (LSD) au seuil de 5% a été également réalisée. L'analyse du degré d'association entre d'une part les différents paramètres mesurés et d'autre part les différents traitements a été réalisée par le calcul du coefficient de corrélation de Bravais-Pearson.

Ce coefficient varie entre -1 et +1 ; l'intensité de la relation linéaire sera donc d'autant plus forte que la valeur du coefficient est proche de +1 ou de -1, et d'autant plus faible qu'elle est proche de 0.

- une valeur proche de +1 montre une forte liaison entre les deux caractères. La relation linéaire est ici croissante (c'est-à-dire que les variables varient dans le même sens);
- une valeur proche de -1 montre également une forte liaison mais la relation linéaire entre les deux caractères est décroissante (les variables varient dans le sens contraire);
- une valeur proche de 0 montre une absence de relation linéaire entre les deux caractères.

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec les logiciels Statistix 8, Origin 6 et Excel.

3 RÉSULTATS

3.1 EFFET DU BIOCHAR SUR LES PARAMETRES PRODUCTIFS DU MAÏS DANS L'ALLEY CROPPING

L'effet du biochar s'est manifesté différemment selon les paramètres observés et les doses utilisées (Figure 3). Le traitement de 8 Kg/m² de biochar avait donné la plus grande valeur avec 1598,8 kg d'épis spathé/ha, le témoin étant le dernier pour la biomasse utile médiane. Tous les traitements de biochar étaient égaux statistiquement avec 1311,8 kg/ha, 1459,5kg/ha et 1601,8 kg/ha respectivement pour 2 kg/ha, 4 kg/ha et 8 kg/ha de biochar mais supérieurs au témoin pour la biomasse utile dans la zone d'interaction de haie.

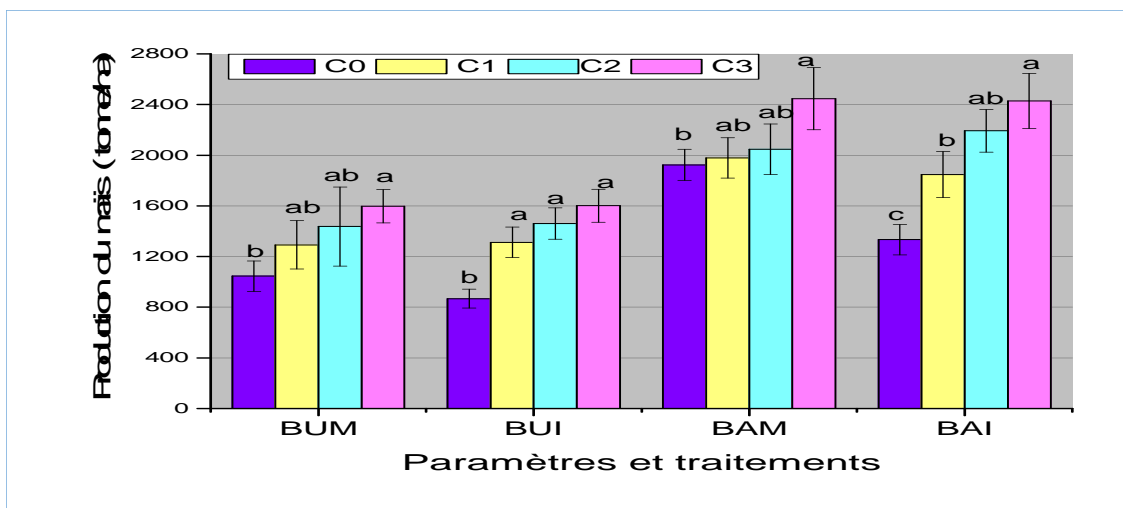


Figure 3. Effet des doses de biochar d'*A. auriculiformis* sur la production du maïs dans l'Alley cropping. Où BUM= Biomasse utile médiane, BUI= Biomasse utile interaction, BAM=Biomasse aérienne médiane, BAI=Biomasse aérienne interaction, BRM=Biomasse racinaire médiane, BRI=Biomasse racinaire interaction, C0= 0 kg/m² de biochar, C0= 2 kg/m² de biochar, C0= 4 kg/m² de biochar, C0= 8 kg/m² de biochar. [Des lettres différentes indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) d'après le test de Fisher LSD].

Il apparaît à la Figure 3 que le traitement avec 8 kg/m² de biochar avait donné la plus grande valeur à la fois pour la biomasse aérienne médiane (BAM) et pour la biomasse aérienne en interaction (BAI) de haie avec respectivement 2447,3 kg de tiges par ha et 2428,8 kg/ha de tiges. Le biochar a, de manière générale, influencé positivement les paramètres observés trois ans et demi après son application alors que durant les essais conduits les deux premières années cette influence était très faible.

3.2 EFFET DE LA LITIÈRE SUR LES PARAMETRES PRODUCTIFS DU MAÏS DANS L'ALLEY CROPPING

Comme pour le biochar, l'effet de la litière d'*Acacia mangium* sur le maïs dans l'Alley cropping s'est manifesté différemment selon les paramètres et les doses utilisées (Figure 4). Le traitement avec 10 t/ha de litière a donné les plus grandes valeurs à la fois de biomasse utile médiane (BUM) et de biomasse utile interaction (BUI) de haies avec respectivement 1526,2 kg et 1511,6 kg/ha d'épis spathés.

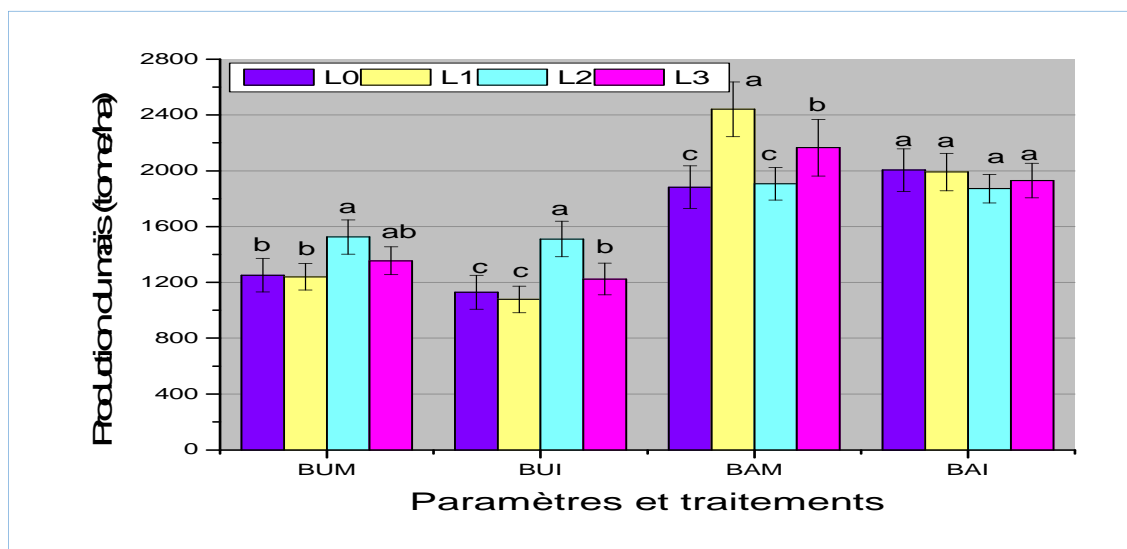


Figure 4. Effet de l'apport de la litière d'*A. mangium* sur la production du maïs dans l'Alley cropping. Où BUM= Biomasse utile médiane, BUI= Biomasse utile interaction, BAM=Biomasse aérienne médiane, BAI=Biomasse aérienne interaction, BRM=Biomasse racinaire médiane, BRI=Biomasse racinaire interaction, L0= 0 t/ha de litière, L1= 5 t/ha de litière, L2= 10 t/ha de litière, L3= 20 t/ha de litière. [Des lettres différentes indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) d'après le test de Fisher LSD].

La biomasse aérienne médiane a obtenu la plus grande valeur par le traitement avec 5 t/ha de litière qui avait produit 2441,7 kg/ha suivi du traitement de 20 t/ha de litière avec 2167,3 kg/ha. Pour la biomasse aérienne en interaction avec les haies, tous les traitements ont été statistiquement égaux avec une valeur supérieure de 2005,4 kg par ha. La biomasse des émondes épandues uniformément sur tous les traitements a donc contribué grandement à augmenter le niveau de production du témoin.

3.3 EFFET DE L'INTERACTION BIOCHAR ET LITIÈRE D'*A. MANGIUM* SUR LES PARAMÈTRES PRODUCTIFS DU MAÏS DANS L'ALLEY CROPPING

L'interaction entre biochar et litière d'*A. mangium* dans l'Alley cropping présentée à la Figure 5 a été positive et a différé selon les paramètres observés et les doses appliquées. La biomasse utile médiane (BUM) a obtenu les meilleures valeurs avec les doses de 8 kg/m² de biochar/0 t/ha de litière (2119 kg/ha d'épis spathés) et de 4 kg/m² de biochar/20 t/ha de litière (2019 kg/ha d'épis spathés). Quant à la biomasse utile dans la zone d'interaction (BUI) avec les haies, les valeurs supérieures à 1700 kg/ha ont été obtenues par les traitements de 8 kg/m² de biochar/10 t/ha de litière, de 8 kg/m² de biochar/20 t/ha de litière et de 8 kg/m² de biochar/0 t/ha de litière kg/ha.

Pour la biomasse aérienne médiane (BAM), les plus grandes valeurs ont été respectivement de 2875 kg/ha de tiges avec les doses de 8kg/m² de biochar/ 5 t/ha de litière. La biomasse aérienne dans la zone d'interaction (BAI) avec les haies a manifesté les plus grandes valeurs avec les doses de 8 kg/m² de biochar/5 t/ha de litière (2791,7 kg/ha de tiges) et de 8 kg/m² de biochar/20 t/ha de litière (2561,7 kg/ha de tiges). La combinaison entre biochar et litière a été très positive et a permis de relever les effets dus au biochar et à la litière seuls.

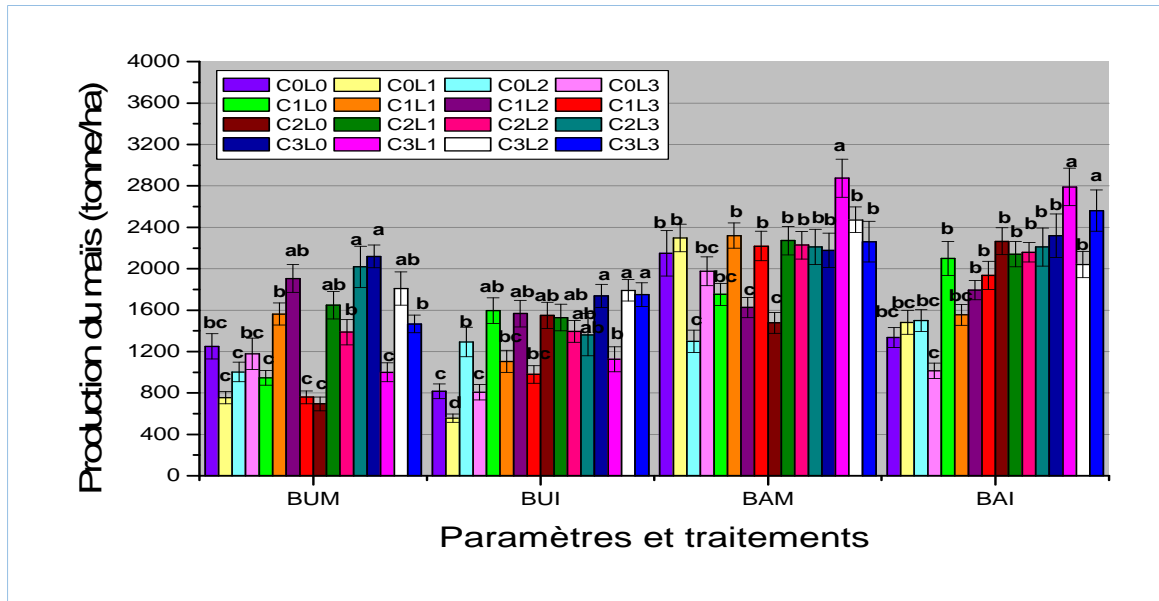


Figure 5. Effet de l'interaction entre la dose du biochar et la litière d'A. mangium sur la production du maïs dans l'Alley cropping. Où BUM= Biomasse utile médiane, BUI= Biomasse utile interaction, BAM= Biomasse aérienne médiane, BAI= Biomasse aérienne interaction, BRM= Biomasse racinaire médiane, BRI= Biomasse racinaire interaction, C0= 0 kg/m² de biochar, C2= 2 kg/m² de biochar, C4= 4 kg/m² de biochar, C8= 8 kg/m² de biochar, L0= 0 t/ha de litière, L1= 5 t/ha de litière, L2= 10 t/ha de litière, L3= 20 t/ha de litière. [Des lettres différentes indiquent des différences significatives (p<0,05) d'après le test de Fisher LSD].

3.4 EVALUATION DES CORRÉLATIONS

Les coefficients de corrélation entre les différents paramètres observés sont présentés dans le tableau 1. On constate une corrélation positive et significative entre les biomasses utiles, les biomasses aérienne et utile médianes, les biomasses aérienne et utile en interaction avec les haies. En outre, plus les biomasses aériennes sont florissantes plus les productions pondérales d'épis avec spathe sont élevées.

Tableau 1. Matrice des coefficients de corrélation de Pearson calculés entre les différents paramètres observés (Différence significative à * $\alpha=0,05$; ns: Différence non-significative.)

	BUM	BUI	BAM	BAI
BUM	1			
BUI	0,57*	1		
BAM	0,41*	0,11ns	1	
BAI	0,15ns	0,47*	0,39*	1

BUM= Biomasse utile médiane, BUI= Biomasse utile interaction, BAM= Biomasse aérienne médiane, BAI= Biomasse aérienne interaction.

En ce qui concerne les doses de biochar (Tableau 2), elles présentent toutes des corrélations négatives et non significatives. Une seule corrélation s'est avérée positive et non significative, il s'agit de la corrélation existant entre la dose de 8 kg/m² de biochar et celle de 0 kg/m² de biochar. Ceci laisse penser qu'en premières années les grandes doses de biochar récentes peuvent ralentir la croissance et se comportait comme le témoin. De même, en ce qui concerne les doses de litière (Tableau 3), elles présentent toutes des corrélations positives et non significatives. Une seule corrélation s'est avérée positive et significative, il s'agit de la corrélation existant entre la dose de 20 t/ha de litière et celle de 5 t/ha de litière.

Tableau 2. Matrice des coefficients de corrélation de Pearson calculés entre différentes doses de biochar (Différence significative à : * $\alpha=0,05$; ns Différence non-significative.)

Biochar	0 kg/m ²	2 kg/m ²	4 kg/m ²	8 kg/m ²
0 kg/m ²	1			
2 kg/m ²	-0.1514 ^{ns}	1		
4 kg/m ²	-0.6286 ^{ns}	-0.1943 ^{ns}	1	
8 kg/m ²	0.3440 ^{ns}	-0.4914 ^{ns}	-0.6820 ^{ns}	1

Tableau 3. Matrice des coefficients de corrélation de Pearson calculés entre différentes dose de litière (Différence significative à : * $\alpha=0,05$; ns Différence non-significative.)

	L0	L1	L2	L3
L0	1			
L1	0.6175 ^{ns}	1		
L2	0.8443 ^{ns}	0.9226 ^{ns}	1	
L3	0.7050 ^{ns}	0.9839*	0.9298 ^{ns}	1

4 DISCUSSION

Le biochar, en troisième année après son application, a donné des effets significatifs sur le maïs tandis que son effet était faible sur les précédents culturaux (cultures de manioc). Ceci peut s'expliquer par le fait que les substances pyrogéniques nocives et répressives de la croissance ont pu être décomposées et éliminées du milieu cultural au cours de deux premières années d'application du biochar au sol [17]. Le biochar s'est mieux exprimé dans la zone proche des haies que dans la zone médiane spécialement pour les paramètres végétatifs (tiges). Pour le paramètre productif (épis spathés), il s'est mieux exprimé dans les deux milieux avec cependant une expression supérieure dans la zone d'interaction de la haie par rapport à celle de la zone médiane. Il s'agit vraisemblablement là d'un effet pédogénétique des racines (exsudat) et des microorganismes de la rhizosphère sur le biochar et les autres fertilisants organiques qui ont favorisé une meilleure utilisation. Le biochar a ainsi agit comme un facteur amortisseur de l'effet de concurrence des haies sur les cultures.

Plusieurs auteurs ont rapporté que le biochar avait une habilité accrue en production et en utilisation des éléments biogènes plus en présence de la fertilisation qu'étant seul. Car, lorsqu'il est appliqué seul il donne des réponses égales voire inférieures au témoin [18], [19], [20]. Dans cette étude, la dose de 8 kg/m² de biochar pour tous les paramètres observés a été statiquement égale à celle de 4 kg/m².

La litière d'*Acacia mangium* a eu un impact plus évident sur la culture du maïs en deuxième saison de culture après son application alors que le maïs planté lors de l'application de la litière en première saison n'avait pas pu croître normalement. Cet impact traduit un état de décomposition plus avancé qu'en première année et à une libération des éléments biogènes par l'humus. Ceci s'explique par le fait que les premières phases de la décomposition de la matière organique surtout à rapport C/N élevé ne libèrent pas encore des nutriments du fait de la prolifération des microorganismes qui consomment eux-mêmes le carbone énergétique et les éléments minéraux les rendant ainsi indisponible momentanément pour les plantes. Ce qui s'est traduit par des rendements moindres dans les parcelles amendés par rapport au témoin en première année. Ce phénomène d'immobilisation et de réorganisation d'azote, connu aussi sous le nom de la faim de l'azote, signifie que c'est seulement lorsque les microorganismes meurent que les éléments minéraux sont restitués au sol et partant aux cultures [4] (Soltner, 2011). Aussi, dans la pratique, est-il recommandé pour contourner ce problème d'apporter une dose d'azote de 50 kg/ ha lors de l'enfouissement de la litière.

Toujours à ce sujet, la référence [21], dans un essai factoriel associant différentes matières organiques (paille C/N=93, compost C/N=43 et Fumier C/N=15) et de l'urée, est arrivée à la conclusion selon laquelle les apports organiques augmentent le taux de carbone et que l'urée en réduit l'ampleur suite à une perte de CO₂ due à une activité biologique et rhizosphérique plus intense. L'enfouissement des pailles même en présence de l'urée donnerait toujours des rendements faibles contrairement au fumier associé à l'urée. La référence [22] insiste pour sa part sur le fait que dans un sol très sableux le bilan carboné ne peut être maintenu que par l'apport combiné de compost et d'urée.

Les résultats ont montré aussi que la biomasse utile a donné sa plus grande valeur dans la zone d'interaction avec les haies soit 1511 Kg/ha d'épis spathé avec 10 t/ha de litière alors que la biomasse aérienne l'a été dans la zone médiane soit 2441,7 t/ha avec 5 t/ha de litière. Il apparait que l'action de la matière organique, en cette deuxième année de culture après

son application, soit plus prononcée pour les facteurs productifs dans la zone d'interaction avec les haies et pour les facteurs végétatifs au milieu de la parcelle. On peut expliquer ce fait par la limitation de facteurs abiotiques telle que la lumière dans les zones d'interaction de haies qui tend à freiner l'expression des paramètres végétatifs malgré la synergie existant entre la matière organique et la rhizosphère.

La référence [23] a montré sur des sols très sableux qu'un apport de 10 t/ha de fumier enfouies tous les deux ans par le labour favorisait la croissance de racines et en beaucoup plus grande quantité encore que la partie érigée. La fumure organique augmenterait l'activité racinaire et jouerait donc un rôle particulier d'activateur du fonctionnement racinaire des cultures [4], [24]. Ceci a cependant une conséquence majeure sur le bilan minéral dans différents compartiments du sol. Plus la fertilisation azotée ou potassique est appliquée sur une culture, plus sa zone rhizosphérique est stimulée, plus les réserves du sol sont sollicitées et par ce fait la minéralisation rapide de la matière organique est entamée [25], [26]. Dans le même ordre d'idée, la référence [4] estime que la quantité de la matière organique surminéralisée par l'engrais azoté serait équivalente à trois ou quatre fois la dose d'azote appliquée à l'hectare.

Cependant, la fertilisation, qu'elle soit minérale ou organique, a d'une manière générale un effet favorable sur le bilan organique de sol. C'est un puissant moyen d'augmentation des rendements et qui contribue à accroître significativement les entrées carbonées dans le système sol-plante. Cet effet dépend toutefois de l'alimentation hydrique des cultures [4]. Dans notre expérience, sur sol sableux, la dose de 20 t/ha de litière tend à donner les mêmes niveaux de rendements que la dose de 10 t/ha de litière. L'optimum de fertilisation se situerait donc autour de la valeur de 10 t/ha de matière organique comme l'a aussi constaté la référence [23] pour les sols très sableux du Sénégal. Ce qui pourrait signifier également que le volume des décomposeurs par hectare dans ces sols sableux pauvres et secs aurait représenté une activité pour dégrader seulement 10 tonnes pendant le temps d'expérience.

S'agissant de l'interaction entre le biochar et la litière, contrairement à ce qui a été observé dans l'effet de la litière, la biomasse utile comme la biomasse aérienne ont donné leur meilleures valeurs dans la zone médiane, avec respectivement 2119 Kg/ha d'épis spathés pour les doses de 8 kg/m² de biochar/0 t/ha de litière et 2875 kg/ha pour 8 kg/m² de biochar/5t/ha de litière. Nous pensons que le biochar a modifié l'action de la litière en ce qu'ici les parties aériennes se sont mieux développées dans la zone médiane.

La combinaison du biochar et de la litière semble ainsi atténuer l'effet de la concurrence entre la culture de maïs et la haie tondue d'*Acacia mangium*, certainement à cause d'une disponibilisation suffisante de nutriments par les deux. L'action positive du témoin doit être circonscrite dans ce contexte où une autre forme de matière organique (les émondes des haies d'acacia) a été épandue régulièrement et uniformément dans l'expérience et le charbon de pyrolyse libre a été déposé lors de l'ouverture du terrain avec le feu. Le biochar associé à la fertilisation organique a contribué à accroître la fertilité de sol et la production comme l'ont aussi rapporté les références [19] et [27], Ce qui tendrait à confirmer les conclusions des références [28], [29], [30] selon lesquelles une fertilisation organique ou minérale apportée à côté du biochar aiderait à éliminer ou à servir de contrepoids aux effets négatifs d'un biochar fraîchement produits. Notre association biochar/matière organique peut ainsi être comparé avec le compostage du biochar avec la matière organique proposée pour adsorber les nutriments sur la matrice poreuse du biochar [31], de stimuler sa colonisation microbienne [32], de détruire les substances pyrogéniques nocifs [17] et d'augmenter la surface réactive du biochar en accélérant l'oxydation des composés responsables [33].

La référence [34] va dans le même sens ; selon celle-ci, l'amendement au biochar en présence de matière organique en décomposition permettrait une augmentation de 13–26 % la concentration des acides fulviques aqueux et de 15–30 % de composés des acides humiques par rapport à la matière organique en décomposition sans biochar. Autrement dit, le biochar favoriserait la décomposition de la matière organique.

5 CONCLUSION

Dans cette étude, Il a été question d'évaluer l'effet de différentes doses de biochar et de litière d'*Acacia mangium* utilisées seuls ou en association sur les paramètres végétatifs et productifs de la culture de maïs dans un contexte d'Agroforesterie en Alley cropping avec une haie d'*Acacia mangium* tondue régulièrement à 1 m. Les résultats obtenus ont montré que le biochar et la litière appliqués au sol respectivement 41 et 5 mois avant la culture avaient produits des effets significatifs sur la culture de maïs. La production d'épis secs avec spathes ainsi que celle des tiges a été supérieure dans la zone médiane de la parcelle de culture.

A notre avis, la meilleure combinaison de biochar et de litière d'*Acacia mangium* pour la production agricole semble se situer autour des doses de 4 Kg/m² (40 t/ha) de biochar et de 20 t/ha de litière pour le sol sableux du plateau de Batéké. La

dose de 20 t/ha de litière dépasse bien évidemment celle de 10 t/ha préconisée par la référence [23] dans un contexte plus sec et sans biochar.

Dans la pratique, les premières années quand le biochar est nouvellement appliqué on ferait bien d'apporter une forte dose de litière soit 20 t/ha pour contrebalancer les effets négatifs des biochars récents. Mais après, on pourra ramener à 10 t/ha la quantité de litière à apporter au sol ou tout simplement réalimenter le sol une fois ce nombre d'années précisé. Ce nombre d'années a été estimé à au moins deux ans.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la CUD, l'Union Européenne via l'UNESCO et l'ERAIFT, la WBI, l'entreprise NOVACEL et l'ongd GI Agro pour leurs multiples contributions à notre recherche.

REFERENCES

- [1] B.P. Bulakali, J. Aloni, J.C. Palata & G. Mergeai, Performances de trois variétés de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) cultivées en association avec *Stylosanthes guianensis* (Aublet) Swartz dans les conditions du plateau des Batéké (ville-province de Kinshasa, RDC), *Tropicultura*, No 32, Vol 4, X-Y, 2014.
- [2] N. Lelo, Kinshasa : Ville et environnement, Editions Harmattan, Paris, 284p, 2008
- [3] M.D. Cahn, D.R. Bouldin, M.S. Cravo & W.T. Bowen, Cation and nitrate leaching in an oxisol of the Brazilian Amazon, *Agron J*, No 85, pp 334-340, 1993.
- [4] C. Piéri, Fertilité des savanes. Bilan de trente ans de recherches et de développement, CIRAD, Paris, France, 1989.
- [5] S.A. Vosti, C.L. Carpentier, J. Witcover & J.F. Valentin, Intensified small scale livestock systems in the western Brazilian Amazon. In: Glaser B., Lehmann J. et Zech W.: Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal, *Biol Fertil Soils*, No 35, pp 219-230, 2001.
- [6] E. Somarriba, Revisiting the past: an essay on agroforestry definition, *Agroforestry Systems*, vol. 19, n° 3, pp 233-240, 1992.
- [7] *Agroforesterie*, Revue de l'Association française de l'agroforesterie n°1, Paris, 36p, 2008.
- [8] H. Thiessen, E. Cuevas, & P. Chacon, The role of soil organic matter in sustaining soil fertility, *Nature*, No 371, pp 783-785, 1994.
- [9] E. Dubiez, J.N. Marien, F. Bisiaux, V. Freycon, A. Peroches & R. Peltier, La durabilité des systèmes agroforestiers à *Acacia auriculiformis* en Afrique centrale, Les Notes de Perspectives N°7. Capitalisation Makala, Cirad et ibf, 4p, in <http://makala.cirad.fr>., 2014
- [10] E.D. Goldberg, *Black carbon in the environment*. Wiley, New York, 1985.
- [11] M.W.I. Schmidt & A.G. Noack, Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges, *Global Biogeochem Cycles*, No 14, pp 777-793, 2000.
- [12] B. Glaser, L. Haumaier, G. Guggenberger & W. Zech, The Terra Preta phenomenon – a model for sustainable agriculture in the humid tropics, *Naturwissenschaften* 88:37-41, 2001a.
- [13] K. Koy, Amélioration de la qualité des sols sableux du plateau des Batéké (RD Congo) par application des matériels géologiques et des déchets organiques industriels locaux. Thèse de Doctorat en Sciences de la Terre. Université de GENT, 400p, 2010.
- [14] R.K. Kasongo, E. Van Ranst, A. Verdoordt, P. Kanyankogote & G. Baert, Impact of *Acacia auriculiformis* on the chemical fertility of sandy soils on the Batéké plateau, D.R. Congo. *Soil Use and Management*, No 25, pp. 21-27, 2009.
- [15] E. Milau, S. Kachaka, K. Aloni, M. Mvumbi & F. Francis, Incidence de la déforestation sur les catégories écologiques des vers de terre dans le domaine et Réserve de Chasse de Bombo-Lumene (Kinshasa). *Tropicultura*, Vol.3, No 33, pp 11-21, 2015.
- [16] E.N. Chidumayo, Effects of wood carbonization on soil and initial development of seedlings in miombo woodland, Zambia, *For Ecol Manage*, No 70, pp 353-357, 1994.
- [17] M. Tuomela, M.A. VikmanHatakka & M. Itävaara, Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresour. Technol.*, No 72, pp 169-183, 2000.
- [18] P. Blackwell, G. Reith Muller & M. Collins, Biochar application to soil. In *Biochar for Environmental Management*. (Eds J Lehmann and S Joseph) pp. 207-226, Earthscan: London, 2009.
- [19] H. Asai, B.K. Samson, H.M Stephan, K. Songyikhangsuthor, K., Homma, Y., Kiyono, Y., Inoue, T., Shiraiwa & T. Horie, Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield, *Field Crop. Res.*, No 111, pp 81-84, 2009.

- [20] J.W. Gaskin, R.A. Speir, K. Harris, K.C. Das, R.D. Lee, L.A. Morris & D.S. Fisher, Effect of Peanut Hull and Pine Chip Biochar on Soil Nutrients, Corn Nutrient Status, and Yield, *Agronomy Journal*, No 102, pp 623-633, 2010.
- [21] M.P. Sedogo, Contribution à la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride (matière organique du sol et nutrition azotée des cultures). Thèse de docteur ingénieur, sciences agronomiques, institut national polytechnique de Lorraine, Nancy, 198p. , 1981.
- [22] C. Feller, F. Bernhardt-Reversat, J.L. Garcia, J.J. Pantier, S. Roussos & B. Van Vliet-Lanoe, Etude de la matière organique de différentes fractions granulométriques d'un sol sableux tropical. Effet d'un amendement organique (compost). Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., Vol.3, No 20, pp 223-238, 1983.
- [23] L.M. Cissé: Etude des effets d'apports de matière organique sur les bilans hydriques et minéraux et la production du mil et de l'arachide sur un sol sableux dégradé du centre-Nord du Sénégal. Thèse de doctorat en sciences agronomiques, institut national polytechnique de Lorraine, Nancy, 184 p, 1986.
- [24] J.L. Chopart, Etude au champ des systèmes racinaires des principales cultures pluviales du Sénégal (arachide-mil-sorgho-riz pluvial).Thèse de doctorat, productions et qualité des produits, Institut national polytechnique de Toulouse,160p et annexes, 1980.
- [25] F. Ganry, The importance of cultural methods to increase the quantity of nitrogen (N₂) fixed by a groundnut crop in the Sudano sahélien Zone of Senegal. In: Organic recycling in Africa, colloquim FAO-SIDA, Buea, Cameroon, 5-14 December. Rome, FAO, pp 168-175, Soils Bulletin, n°43, 1987.
- [26] C. Pieri, Estimation du bilan des pertes moyennes en eau et en éléments minéraux dans une succession culturale mil-arachide (années 1979 à 1981). Montpellier, IRAT-AIEA, 26p, 1982.
- [27] Atkinson, C.J., Fitzgerald, J.D., Hipps, N.A., 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil* 337, 1–18.
- [28] J.A. Alburquerque, P. Salazar, V. Barrón, J. Torrent, M.C., Campillo del, A. Gallardo & R. Villar, Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agron. Sustain. Dev.*, Vol. 3, No 33, pp 475–484, 2012.
- [29] E.W. Bruun, D. Müller-Stöver, P. Ambus & H. Hauggaard-Nielsen, Application of biochar to soil and N₂O emissions: potential effects of blending fast-pyrolysis biochar with anaerobically digested slurry, *Eur. J. Soil Sci.*, No 62, pp 581–589, 2011
- [30] S. Joseph, L. Van Zwieten, C. Chia, S. Kimber, P. Munroe, Y. Lin, C. Marjo, J. Hook, T. Thomas, S. Nielsen, S. Donne & P. Taylor, Designing Specific Biochars to Address Soil Constraints: A Developing Industry. In: N. Ladygina & F. Rineau (Eds.), *Biochar and Soil Biota*, CRC Press, Boca Raton, 2013c.
- [31] C. Steiner, K.C. Das, N. Melear & D. Lakly, D., Reducing nitrogen loss during poultry litter composting using biochar, *J. Environ. Qual.*, No 39, p 1236, 2010.
- [32] J. Pietikäinen, O. Kiiikkilä & H. Fritze, Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus, *Oikos*, No 89, pp 231–242, 2003.
- [33] A.R. Zimmerman, Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar), *Environ. Sci. Technol.*, Vol.44, pp 1295–1301, 2010.
- [34] J. Zhang, Fan Lü, L. Shao & P. Pinjing He, The use of biochar-amended composting to improve the humification and degradation of sewage sludge, *Bioresource Technology*, No 168, pp 252–258, 2014.

Investissements miniers et développement durable en RD Congo: Cas de la province du Katanga

[Mining investments and sustainable development in DR Congo: Katanga province case]

Ghislain BAKANIANI LISUMBU¹ and Hervé MBAYA MUMPUNGA²

¹Professeur Associé, Département des Relations Internationales, Université de Lubumbashi, RD Congo

²Assistant et doctorant, Université de Lubumbashi, Département des Relations internationales, RD Congo

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

ABSTRACT: Mining investments and sustainable development in Democratic Republic of Congo is question that alerts disciplines like economics sciences, public international law, sociology and international relations. Democratic Republic of Congo abounds enormous potentialities in its soil and subsoil. She modified its mining exploitation methods when facilitating small scale investissements whose technology compete those of big scale investments. Preoccupation is the contribution of these investments in sustainable development in Haut-Katanga. Case study of four big scale investments and four other small scale investments inspired this study including TENKE FUNGURUME MINING, KAMOTO COPPER COMPAGNY, MINERALS AND METALS GROUP, SOCIETE D'EXPLOITATION KIPOI for small scale asian firms including. CHEMAF, RUASHI MINING for big scale, it reveals that investment is a factor of economic growth and development made possible by mining fees and taxes. On the social front, some firms rehabilitated and constructed schools. Others firms produced some achievements for instance the big ophtalmological clinic, shalina Eye Clinic. On the environment front, some firms are engaged to reduce negative impacts on environment of which toxic wastes are treated and evacuated to big highly secured bassin. In contrast, quantity of metals concentrated underground of others firms, is dangerous for very special plant species. Others again, provokes environmental problems because its factory stagnate due to lack of canalisation structure. Mining investments impact on sustainable development in Haut-Katanga, in economic, social and environment levels.

KEYWORDS: minefield, firm, development, community, environment, pollution.

RESUME: Les investissements miniers et le développement durable en RDC sont une question qui trouve sa place dans le monde scientifique, en sciences économiques, en droit international public, en sociologie et en Relations internationales. La RDC regorge d'énormes potentialités de sol et sous-sol. La révolution des méthodes d'exploitation minière laisse la place aux investissements de grande et petite taille. La tâche est de savoir la contribution de ces investissements au développement durable dans le Haut-Katanga. L'étude de cas de quatre investissements en fonction de leur taille et de leur capital, Tenke Fungurume Mining, Kamoto copper compagny, Minerals and Metals Group, société d'exploitation Kipoi pour la petite de taille, les entreprises d'origine asiatique Chemical of Africa, Ruashi Mining pour la grande taille, révèle que l'investissement constitue un facteur de croissance économique et du développement rendu possible par des redevances minières, taxes et impôts. Sur le plan social, les entreprises minières ont réhabilité et construit des écoles. Certaines ont également fait quelques réalisations, dont la plus grande est celle des cliniques ophtalmologiques shalina eye clinic.

Sur le plan environnemental, certaines entreprises réduisent les impacts négatifs des déchets toxiques sur la nature, en les traitant et les évacuant. Par contre d'autres polluent l'environnement par la grande quantité de concentration de métaux sous le sol, qui constitue un danger pour les espèces de plantes très spéciales. Des problèmes environnementaux se posent également par le fait que certaines usines ne sont pas bétonnées, les eaux stagnantes et coulantes polluent les rivières. Les investissements miniers ont un impact positif et négatif à la fois, sur le développement durable dans le Haut-Katanga, sur le plan économique, social, et environnemental.

MOTS-CLEFS: mines, entreprise, croissance, société, environnement, pollution.

1 INTRODUCTION

Dans le cadre de l'organisation du séminaire de formation civique organisé cette année à la Faculté des sciences économiques et de gestion par la Fondation Konrad Adenauer sous le thème: « Ressources naturelles et développement en RD Congo », il nous a été demandé de réfléchir sur le rapport entre investissements miniers et développement durable en RD Congo.

Il s'agit là d'une problématique qui non seulement défraie l'actualité, mais convoque aussi des réflexions au sein des disciplines telles que : les sciences économiques, le droit international public, la sociologie, les Relations internationales et autres.

En effet, les deux thématiques reviennent de plus en plus dans les recherches que mènent les chercheurs dans les disciplines précitées en cette période de mondialisation économique.

Depuis une dizaine d'années, voire plus, nous assistons à une affluence des investissements étrangers dans l'exploitation des ressources naturelles telles que le pétrole et les produits miniers.

Du Nord au Sud, de l'Est à l'Ouest, les puissances émergentes (chinoise, indienne, brésilienne et sud-africaine) font face à des puissances traditionnelles (canadienne, australienne).

Pour ce qui est de la RD Congo, pays qui regorge d'énormes potentialités du sol et du sous-sol, cette affluence a révolutionné les méthodes d'exploitation minière en laissant la place aux investissements de petite taille dont la technologie concurrence celle des entreprises de grande taille. D'où la problématique de la contribution de ces investissements de différentes tailles au développement durable.

La République Démocratique du Congo ayant opté pour une économie libérale tempérée du type «Economie Sociale du Marché», la croissance économique et le développement reposent sur le tripartite suivant :

- 1° l'Etat fournit le cadre et l'environnement incitatifs ;
- 2° le secteur privé crée les richesses nationales et l'emploi ;
- 3° la société civile, elle, se charge de promouvoir l'homme dans toute sa dimension.

L'Etat doit jouer le rôle d'organisateur et de catalyseur des forces vives en prenant en charge les infrastructures et les investissements des industries de base et en instituant un cadre institutionnel et juridique qui assurent la protection des personnes et des biens. Le secteur privé doit s'occuper de la production de biens et services. La prise en charge de la production de biens et services se matérialise en amont par la revalorisation de la fonction-investissement. Car dit-on, la croissance économique d'une nation est fonction directe du degré des investissements atteint ! Pas d'investissement, pas de croissance semble être le postulat corollaire sine qua non¹.

En d'autres termes, il s'agira dans cette communication de dégager l'impact de ces investissements étrangers directs du secteur minier sur l'économie, le social et l'environnement.

Cependant, nous ne pouvons démontrer l'impact de ces investissements directs étrangers du secteur minier en RD Congo, si nous ne présentons pas au préalable les termes de référence de notre sujet à savoir : Les IDE miniers et le

¹ Exposé de motif de la Loi n° 004/2002 portant code des investissements de la RD Congo du 21 Février 2002.

Développement durable. Il s'agit ici de préciser à votre intention le sens et le contenu des notions précitées et d'analyser la contribution de ces investissements sur les trois composantes du développement durable.

Ainsi, pour des raisons de concision, nous nous sommes limités à la Province du Katanga et la période allant de 2002 à nos jours va nous servir pour comprendre le rapport IDE et Développement durable. En effet, l'année 2002 coïncide avec l'adoption par le parlement et la promulgation par le président de la République du Code minier; tandis qu'en 2014 le phénomène continue.

Une conclusion sera tirée dans laquelle nous allons suggérer quelques pistes de solution pour une gestion renforcée des ressources naturelles de la RD Congo.

2 PRÉCISIONS SÉMANTIQUES

2.1 INVESTISSEMENT

Un investissement est une dépense ayant pour but de modifier durablement le cycle d'exploitation de l'entreprise. Investir revient pour celui qui s'y décide à renoncer à une consommation immédiate pour accroître ses recettes futures.

L'investissement est l'instrument par excellence de la croissance économique, en ce sens qu'il permet de multiplier les richesses, avec comme avantage de multiplier les ressources économiques. Au niveau d'une nation, l'investissement augmente la richesse nationale, le produit national ou le revenu national.

L'investissement, qui était au départ national, devient investissement direct étranger par son implantation dans un pays d'accueil.

L'investissement peut être qualifié de²:

- productif : à double sens :
 - soit renvoie à l'idée qu'il s'agit d'un investissement de nature directement productive,
 - soit renvoie à l'idée de l'efficacité de son rendement : la valeur cumulée des biens et des satisfactions obtenues est supérieure voire très supérieure au coût investi.
- non directement productif (voire improprement qualifié d'improductif): il concerne des biens et des services d'utilité publique (écoles, hôpitaux, etc.).
- matériel : il se traduit par la création d'un bien ou actif réel (un bien de production, par exemple).
- immatériel : il concerne des services : formation, recherche-développement, innovation, marketing, technologies de l'information, publicité, etc., susceptibles d'apporter un développement futur.
- financier : il doit être considéré à part compte tenu de ce que sa finalité est de rechercher une contrepartie (placement) ou à plus ou moins long terme un gain financier (plus-value).
- stratégique, lorsqu'il est jugé essentiel pour la survie ou l'avenir de l'investisseur.

Dans sa décision d'investir, l'entrepreneur compare le coût de l'investissement et la somme des valeurs, actualisées et pondérées par les risques, des rentrées de trésorerie obtenues grâce à l'investissement. Le projet d'investissement sera réalisé si, selon l'analyse keynésienne, l'efficacité marginale du capital désigne le taux de rendement interne de l'investissement. Elle sert de taux d'actualisation des recettes tirées de l'investissement. À savoir, l'investissement est d'autant plus important que le taux d'intérêt soit faible. Pour Keynes, « l'investissement dépend de la comparaison entre l'efficacité marginale de l'investissement et le taux d'intérêt pratiqué sur le marché des capitaux »³. La décision de réaliser l'investissement est justifiée. Il peut être financé soit à partir de fonds dont dispose l'entreprise, soit à partir d'emprunt dont le coût est inférieure au taux de rendement de l'investissement.

² Avinash Dixit & Robert Pindyck., *Investment Under Uncertainty*, Princeton Univ. Press, 1994

³ *Ibidem*.

Dans l'analyse macro-économique, le terme d'investissement est réservé à la seule création de biens capitaux nouveaux (machines, immeubles...). Pour Keynes, « l'investissement dépend de l'efficacité marginale du capital et du taux d'intérêt ». En fait, les dépenses en biens d'investissement dépendent principalement de deux variables :

- le rendement attendu de l'investissement, dit "efficacité marginale du capital",
- le taux d'intérêt i ou coût d'emprunt contracté pour financer l'acquisition de biens d'investissement.

Pour une efficacité marginale donnée, l'investissement apparaît comme une fonction décroissante du taux d'intérêt. Le niveau du taux d'intérêt est donc la variable incitatrice ou désincitatrice privilégiée du processus d'investissement. Dans l'analyse keynésienne, l'investissement est considéré comme autonome, c'est-à-dire indépendant du revenu. Avant toute chose, le dirigeant doit faire tout d'abord son métier en resituant l'investissement dans la stratégie d'entreprise et l'organisation d'entreprise. À défaut, il risque de prendre des décisions hâtives en matière de moyens mais sans chemin pertinent et/ou dans une facilité trompeuse qui juge inutile la nécessité de cette réflexion. Avant d'engager ses ressources propres à l'investissement, l'entreprise doit en effet examiner toutes les solutions possibles pour financer son besoin de financement : autofinancement, recours à l'emprunt, leasing, aides publiques, augmentation de capital ou financement par prélèvement sur fonds propres. Ces sources de financement peuvent être combinées.

Il faut aussi noter que les investissements peuvent aussi être financés par cession d'actifs, (dans l'hypothèse où l'entreprise désinvestit dans le cadre d'une stratégie de réorientation ou de recentrage de ses activités). Le législateur offre des possibilités de réduction d'impôt sur le revenu et impôt de solidarité sur la fortune (ISF) pour les particuliers qui investissent dans les PME. La PME doit répondre à des critères quantitatifs (exemple CA < 50M€, emploi de moins de 250 salariés) et à la définition de PME communautaire.

On parle de mal-investissement lorsque l'investissement est inadéquat : trop élevé (surinvestissement), trop faible (sous-investissement), ou les deux à la fois (c'est-à-dire: mal orienté).

« La décision d'investir ou de ne pas le faire, est toujours une forme de pari sur l'avenir : il n'est donc pas étonnant de rencontrer des investissements inadéquats. Lorsqu'une accumulation d'investisseurs se trouvent commettre la même erreur, plus ou moins simultanément, celle-ci peut générer -au niveau macro-économique, dans une filière d'activité ou dans une zone géographique - des situations pouvant aller de la simple récession à la crise économique de plus grande ampleur ». (Voir l'analyse du cycle économique)⁴.

En régime d'économie libre, la variable essentielle en la matière est le taux d'intérêt : Trop élevé, il rend impossible l'investissement même dans des projets a priori rentables ; trop bas, il favorise l'investissement dans des projets à la rentabilité trop faible. Des agents économiques trop optimistes peuvent surinvestir et créer des capacités de production excédentaires par rapport à la demande effective exprimée par le marché. À l'échelle d'un pays, ou d'une branche d'activité, l'insuffisance constatée des débouchés par rapport à l'offre ainsi créée va provoquer un effet déflationniste et la faillite des entreprises marginales (celles dont le prix de revient est le plus élevé).

Après cette brève précision sur la notion d'investissement, voyons ce qu'est l'investissement direct étranger.

2.2 INVESTISSEMENT DIRECT ÉTRANGER

Nous pouvons définir l'investissement direct étranger (IDE) comme un capital dans la propriété d'actifs réels pour implanter une filiale à l'étranger ou pour prendre le contrôle d'une firme étrangère existante. Néanmoins, l'implantation d'une filiale à l'étranger ou l'acquisition d'une filiale déjà existante ne constituent pas les seuls cas de figure. En effet, les accords de licence, la sous-traitance, le franchisage, les contrats de gestion font partie des nouvelles formes d'investissements directs.

« Les investissements directs à l'étranger (IDE) sont le moyen de l'internationalisation des firmes. Ils consistent en des achats de titres d'entreprises par des agents non-résidents afin d'obtenir un intérêt durable et la capacité d'exercer une influence dans la gestion»⁵. Ils peuvent prendre la forme d'une création d'entreprise, du rachat d'une entreprise existante, ou encore d'une simple prise de participation dans le capital d'une entreprise, à condition que cela permette d'obtenir un

⁴ <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Investissement&oldid=126127375> consulté le 21 juillet 2016.

⁵ OCDE, *Définition de référence des investissements directs internationaux*, 4ème édition, Paris, 2008.

pouvoir de décision effectif dans la gestion. Ainsi, la création par Danone d'une filiale en Chine (avec un partenaire chinois) est un IDE pour Danone (ce qui va se traduire par une sortie de capitaux de France et une entrée de capitaux en Chine).

Plus précisément, d'après la définition du FMI, les IDE connaissent quatre formes⁶ :

- La création d'une entreprise ou d'un établissement à l'étranger ;
- L'acquisition d'au moins 10 % du capital social d'une entreprise étrangère déjà existante ;
- Le réinvestissement de ses bénéfices par une filiale ou une succursale située à l'étranger ;
- Les opérations entre la maison mère d'une firme transnationale et ses filiales (souscription à une augmentation de capital, prêts, avances de fonds, etc.).

Les IDE proviennent presque exclusivement des pays riches (OCDE), même si la zone asiatique a vu sa part multipliée par 14 au cours de la décennie 1990. Dans l'OCDE, les principaux pays investisseurs étaient les Etats-Unis, le Royaume-Uni, les Pays-Bas, l'Allemagne, la France et le Japon. En Asie, hormis le Japon, les principaux pays investisseurs étaient la Corée du sud, la Chine, Singapour et la Thaïlande. Les flux d'IDE se sont développés nettement plus vite que les échanges commerciaux. Ils ont été multipliés par près de 5 entre 1984 et 1996.

Si les IDE proviennent pour l'essentiel des pays riches, ils leur sont aussi majoritairement destinés : la demande mondiale étant concentrée dans ces pays, il est normal qu'ils suscitent de nombreux investissements. Cependant, l'asymétrie est ici moins forte que pour l'origine des IDE, parce que l'Asie et, dans une moindre mesure, l'Amérique Latine reçoivent une part de plus en plus grande des IDE. à l'intérieur de ces zones, les IDE sont concentrés sur quelques « pays émergents » (Chine, Brésil, Argentine), dont la croissance rapide attire les investisseurs.

Les IDE sont encore le moyen pour les firmes d'internationaliser leur processus de production. C'est donc par les IDE que se réalise la « mondialisation productive ». La décision d'investir à l'étranger est généralement motivée par la recherche d'une fiscalité avantageuse, la qualité des infrastructures ou le niveau de qualification et/ou de coût des travailleurs du pays d'accueil et les « effets d'agglomération » (les entreprises s'implantent à proximité d'autres entreprises). En revanche, la volonté de contourner des droits de douanes ou d'économiser les coûts de transports semble peu importante.

Pour les pays d'accueil, les IDE sont, comme les investissements en général, un facteur de croissance (effet sur la demande globale, mais aussi effets sur les capacités de production).

Dans les vieux pays industriels, les IDE peuvent être un moyen de relancer l'activité des régions industrielles en déclin, ce qui incite les Etats et les collectivités locales à développer leur attractivité aux yeux des investisseurs étrangers.

Pour les pays en développement, dans un contexte où l'essentiel du commerce mondial est réalisé par les entreprises multinationales, les IDE sont un moyen de s'insérer dans la mondialisation et de stimuler les exportations. Les IDE sont aussi un moyen de bénéficier de « transferts technologiques » : les investisseurs étrangers amènent avec eux des procédés de production innovants, des méthodes d'organisation performantes et des savoir-faire qui se diffuseront progressivement à l'ensemble du pays et dopperont sa productivité. Le pays d'accueil aura ainsi bénéficié du progrès technique sans avoir eu à le financer.

Pour le pays d'origine, les effets sont plus difficiles à évaluer : si l'IDE correspond à une délocalisation, il peut y avoir, au moins dans l'immédiat, des suppressions d'emplois ; si l'IDE correspond à une implantation qui aurait pu être faite dans le pays d'origine mais qui ne l'est pas, ce n'est pas non plus favorable à l'emploi. Cependant, à plus long terme, les IDE peuvent générer des exportations pour le pays d'origine et une demande supplémentaire en provenance du pays d'accueil de l'IDE⁷.

Etant donné que le secteur de notre étude est celui des mines, nous faisons remarquer avec Gisèle Belém que les IDE sont « la forme généralement adoptée par les investissements miniers ». Cependant, ces IDE se présentent sous différentes tailles: les multinationales, les entreprises étrangères étatiques, les entreprises étrangères non listées, les entités non traditionnelles et les juniors.

⁶ Chédor, S., et Mucchielli, J-L., « Implantation à l'étranger et performance à l'exportation. Une analyse empirique sur les implantations des firmes françaises », *Revue Économique*, vol. 49, n°3, 1998, pp. 617-628

⁷ Fontagné, L., et Pajot, M., « Investissement direct à l'étranger et échanges extérieurs : un impact plus fort aux États-Unis qu'en France », *Économie et Statistique*, n° 326-327, 1999, pp. 71-95

Aussi, se présentent-ils sous plusieurs formes: investissements directs étrangers d'installation, investissements directs dans les installations existantes, les fusions et acquisitions ainsi que les négoce des concessions.

Après ces tours d'horizon sur le premier thème qui est l'investissement direct étranger, voyons à présent ce qu'il en est du développement et de son évolution au développement durable, notre second thème.

2.3 LE DÉVELOPPEMENT

Dans la construction de la pensée du développement, croissance économique et développement étaient pris comme des synonymes. Le développement signifiait l'obtention d'une croissance économique significative sur une longue période. Ainsi Rostow, dans les étapes de la croissance économique, définit le processus universel de développement des nations à partir de la croissance. Ceci dit, le développement était réduit à sa seule dimension économique.

Par ailleurs, François Perroux va distinguer la croissance et le développement. Il considère la croissance comme « l'augmentation soutenue, pendant une ou plusieurs périodes longues, d'un indicateur de dimension: pour une nation, le produit global net en termes réels »

Le programme des Nations unies pour le développement (PNUD) définit le développement comme le fait d'« élargir l'éventail des possibilités offertes aux hommes »⁸. Jevons n'avait-il pas souligné, lors de la première révolution industrielle, que « la croissance économique est exponentielle alors que les ressources énergétiques (charbon) sont épuisables? Il a mis l'accent sur le caractère épuisable des ressources pour fonder son approche de durabilité.

MAIS QU'EN EST-IL DU DEVELOPPEMENT DURABLE?

2.4 LE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Plusieurs définitions sont données du développement durable en commençant par celle devenue célèbre du Rapport Brundtland, à savoir: « un développement qui répond aux besoins du présent, sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs », mettant ainsi une rupture entre le développement et le développement durable. Pour notre part, nous retenons avec Natalia Zagravu que « le développement durable comporte trois dimensions: 1) la durabilité économique, qui consiste à maintenir les investissements à des taux suffisants afin de conserver les stocks de capital; 2) la durabilité environnementale, qui consiste à bien gérer et à recycler les ressources naturelles par l'environnement; 3) la durabilité sociale, qui vise à promouvoir la justice sociale et à favoriser le bien-être de l'ensemble de la population. Ainsi, le développement durable est un processus d'équilibre à conquérir à partir de ces trois piliers ». Cet effort s'inscrit dans une logique processuelle.

Après avoir circonscrit nos deux thèmes Investissements et développement durable, il sied de relever que la problématique du rapport de ces deux variables trouve un intérêt dans le contexte de la mondialisation. En effet, la libéralisation des marchés a occasionné le contrôle des marchés miniers par les IDE pour accroître leurs gains de productivité. Toutefois, cette recherche effrénée de profit n'est pas sans conséquences sur les dimensions du développement durable qui sont économique, sociale et environnementale.

A ce propos, plusieurs auteurs ont eu à débattre sur cette question. Le débat tourne autour de deux thèses à savoir: celle qui soutient que les différentes composantes du développement durable sont garanties par les actions des IDE, et l'autre qui, en revanche, la nuance.

Parmi les tenants de la première thèse fondée sur la dimension économique, Gisèle Belém note en effet que « le lien entre extraction minière et développement durable s'expliquerait par la gestion efficace des ressources issues de l'exploitation ». L'Extractive Industry Review abonde dans le même sens, évoquant la perspective que « la richesse générée soit administrée dans un contexte transparent ».⁹

⁸ Vernon, R., « *International Investment and International Trade in the Product Cycle* », *Quarterly Journal of Economics*, Vol 80, mai 1966, pp. 190-207

⁹ Gisèle Belém cité par Bloom, N., Kretschme, T., et Van Reenen, R., « *Work Life Balance, Management Practices and Productivity* », in R. Freedman et K. Shaw (eds.), *International Differences in Business Practices and the Productivity of Firms*, NBER: University of Chicago, 2008

Sur la dimension sociale, Christiansen H. et Ogutou M. soulignent que « du point de vue social, l'on s'attend à un impact positif sur le capital humain parce que les entreprises transnationales sont mieux à même de fournir de la formation et de l'éducation, facteurs d'accroissement du capital humain. Mais tel n'est pas le cas pour tous les IDE qui, malgré les avantages fiscaux, se soucient moins des conditions de vie des populations locales, comme le note Mani Kamara. Enfin, sur le plan environnemental, Gisèle Belém soutient qu'« il est admis que les IDE, forme générale adoptée par les investissements miniers, ont un fort potentiel de réduction des problèmes environnementaux parce que les entreprises étrangères disposent des technologies modernes « propres » comparativement aux locales. » Cependant, dans certains pays comme le Mali, l'expérience a démontré que l'exploitation minière par les IDE a des effets dommageables sur la protection de l'environnement, comme l'a relevé Mani Kamara.

Pour clore ce débat, si l'on se réfère à Gisèle Belém, « la situation d'équilibre entre les trois pôles et donc le contenu opérationnel du développement durable dépendent donc des rapports de forces entre acteurs. Dans ces conditions la poursuite d'un développement durable nécessite non seulement une approche hiérarchisée des composantes du concept, mais également un cadre d'opérationnalisation favorisant cette hiérarchisation dans un contexte d'inégalité des acteurs et de divergences des intérêts en présence».

3 INVESTISSEMENT MINIER ET DEVELOPPEMENT DURABLE EN RD CONGO (HAUT-KATANGA)

En RDC Congo et particulièrement dans la province du Haut-Katanga, le rapport IDE et Développement durable sera perçu à partir de l'étude des cas de 4 investissements de grande taille et de 4 de petites tailles en fonction de leur capital investi. Ainsi sont considérées les entreprises occidentales Tenke Fungurume Mining (TFM), Kamoto copper company (KCC) pour la grande taille et Minerals and Metals Group (MMG), Société d'exploitation Kipoi sprl (SEK) pour la petite taille. Les entreprises asiatiques CHEMAF, RUASHI MINING pour la grande taille et CONGO LOYAL WILLS, CONGO DONG FONG pour la petite taille dans l'application de leurs EIE et leurs PGEP.

3.1 SUR LE PLAN ÉCONOMIQUE

« L'investissement se révèle être le facteur par excellence de la croissance économique et du développement qui consiste dans l'augmentation des grandeurs économiques. La croissance économique suppose elle-même des changements majeurs de structure et d'importantes modifications correspondantes dans les conditions institutionnelles »¹⁰ et sociales du pays.

L'essentiel de la contribution des IDE minier sur l'économie est fait des impôts, taxes et redevances minières.

Les paiements déclarés en 2009 par les entreprises minières de grande taille Chemaf, Ruashi Mining, TFM, KCC est respectivement à la DGI¹¹ (Direction générale des impôts): USD 684.341, 539.308 et 379.502; à la DGRAD¹² (Direction générale des recettes administratives et domaniales): USD 10.666.455, 11.840.732 et 2.102.420, et enfin à la DGDA¹³ (Direction générale des douanes et accises): USD 26.920.587, 16.421.859 et 36.393.130.

Pour ce qui est de la redevance minière versée en 2012, TFM a payé USD 25.985.410,46 pour un tonnage annuel de 141997,2 cathode de cuivre et 62061,08 d'hydroxyde de cobalt; RUASHI MINING: USD 5.235.381,08 pour un tonnage de 141.997,2 de cathodes de cuivre et 62061,08 d'hydroxyde de cobalt; CHEMAF: USD 2.773.303,53 pour 10.513,75 tonnes de cathodes de cuivre, 795 tonnes de carbonate de Cobalt, 2.747,35 d'hydroxyde de cobalt et 1.309 tonnes de concentré d'étain; et enfin KCC: USD 12.310.788,2 pour un tonnage de 98.853,544 de concentré de cuivre, 41.631,72 de cathodes de cuivre, 2.152,4595 de cobalt et 19.740,88 de nodules de cuivre.

Les entreprises de petite taille, quant à elles, relativement à leurs versement aux régies financières, semblent faibles: en 2008 CONGO DONG FONG n'a rien payé à la DGI, la DGRAD et la DGDA; CONGO LOYAL a déclaré USD 161.340 à la DGI et 507.179 à la DGRAD, les données étant indisponibles pour SEK.

Pour ce qui est de la redevance, CDM a payé USD 4.349.333,47 pour un tonnage de 31.988 de concentré de cobalt, 25.768 de cathodes de cuivre, 2.256,8 d'hydroxyde de Cobalt et 1.082,1 math. De cuivre.

¹⁰ Exposé de motif de la Loi n° 004/2002 portant code des investissements de la RD Congo du 21 Février 2002.

¹¹ DGI/RDC, rapport sur le paiement déclaré des entreprises minières, 2009.

¹² DGRAD/RDC, paiements déclarés annuels, 2009.

¹³ DGDA/RDC, déclaration douanière annuelle, 2009.

3.2 SUR LE PLAN SOCIAL

3.2.1 L'INVESTISSEMENT AGIT SUR L'OFFRE¹⁴

a) Investir permet d'augmenter l'offre et donc permet la croissance économique.

L'investissement matériel, qui correspond à la formation brute de capital, va permettre à l'entreprise de disposer de plus de facteur capital fixe et donc de produire plus. En fonction du type d'investissement l'effet peut être différent: l'investissement d'expansion (appelé également investissement de capacité) va augmenter la capacité de production de l'entreprise, alors que l'investissement de modernisation (= investissement de productivité) va viser à accroître la productivité. L'investissement de remplacement quant à lui ne va pas contribuer sensiblement à la croissance économique car il renouvelle à l'identique le capital.

L'investissement immatériel notamment en recherche et développement permet la création de nouveaux produits (nouvelles technologies, nouveaux matériaux...). Ces innovations de produit peuvent certes se substituer à d'autres, mais peuvent aussi entraîner une production nouvelle. L'investissement est donc le vecteur du progrès technique, source de croissance économique. La thèse schumpétérienne va dans ce sens puisqu'elle incite à l'innovation aux travers des investissements, en expliquant que les innovations de produit sont à l'origine de l'amélioration de la compétitivité prix et hors prix.

b) Investir permet d'augmenter la productivité.

L'investissement permet d'augmenter la productivité : L'investissement en nouvelles machines plus performantes et l'investissement immatériel en (source d'innovations de procédés) sont des moyens d'augmenter la productivité = intensité capitalistique

L'investissement public permet d'améliorer l'environnement favorable à l'offre : infrastructures routières, éducation, recherche fondamentale. Ces deux dernières dépenses sont sources de gains de productivité.

Les gains de productivité permettent de produire plus mais aussi de réduire les coûts de production et les délais. Cela permet d'augmenter la compétitivité prix de l'entreprise et du pays et donc d'augmenter les parts de marché et la production.

3.2.2 L'INVESTISSEMENT AGIT SUR LA DEMANDE GLOBALE

a) Investir permet d'augmenter la demande qui s'adresse aux entreprises et donc permet la croissance économique

L'augmentation de la productivité permet d'augmenter les revenus (du capital et du travail) et de baisser les prix. Ce double phénomène permet une hausse de la demande en biens de consommation grâce à la hausse du pouvoir d'achat et la hausse des exportations. La demande globale augmentant, les entreprises vont devoir produire plus.

b) Investir a un effet multiplicateur sur la production et les revenus et donc sur la croissance économique

L'effet de l'investissement ne s'arrête pas là, car un supplément d'investissement agit sur la demande par l'intermédiaire du multiplicateur (théorie mise en évidence par KEYNES qui ne faut pas confondre avec « l'accélérateur », qui traite des effets de la demande sur l'investissement, et selon lequel une petite variation de la demande, produit une grande variation de l'investissement). Pour expliquer ce phénomène, prenons l'exemple d'une entreprise qui investit 100 dollars, avec lesquels elle achète des machines à une autre entreprise. Pour cette entreprise, cela fait 100 dollars de revenus, qui vont être redistribués sous forme de revenus. Les travailleurs et les capitalistes, qui reçoivent les 100 dollars, en épargne une partie (20%) et en consomme 80%. Ils achètent des biens et des services à d'autres entreprises, donc ils dépensent les 80 dollars qui vont constituer 80 dollars de revenus pour des producteurs des biens et services qui seront également dépensés à hauteur de 80%...

En période de récession, l'État peut mener une politique de relance de la croissance économique par une politique d'investissements, en espérant agir sur l'effet multiplicateur. Cette politique sera efficace que s'il y a consommation des nouveaux revenus. Keynes considère l'épargne comme une fuite du circuit.

¹⁴ Royer Bernard, M., *investissement socialement responsable*, éditions Arnaud franel, 2009.

L'investissement contribue donc à la croissance économique par son action sur l'offre en accroissant la production et/ou en l'améliorant, par son action sur la demande en augmentant la demande de biens de production, et en permettant une augmentation de la demande des biens de consommation de la part des salariés, embauchés pour produire ces nouvelles machines. Mais qu'arrive-t-il lorsque l'investissement chute brutalement ? Ces phénomènes ne seraient-ils pas amplifiés négativement ?¹⁵

D'après la Commission européenne, l'investissement social est l'une des fonctions du système de protection sociale (European Commission, 2013). Il doit « renforcer les capacités des personnes et le soutien à leur participation dans la société et au marché du travail ». Autrement dit, l'investissement social englobe les politiques permettant de préparer les individus aux difficultés qu'ils vont rencontrer tout au long de leur vie, au lieu de réparer les conséquences. L'accueil collectif des très jeunes enfants (moins de 3 ans) est souvent cité en exemple d'une stratégie d'investissement social. En effet, comme le montrent les travaux de James Heckman, prix Nobel d'économie, l'accueil collectif des très jeunes enfants permet d'améliorer le développement des capacités cognitives facilitant ensuite l'insertion sur le marché du travail. La formation tout au long de la vie est également un pan important d'une stratégie d'investissement social.

La définition d'investissement social proposée par la Commission européenne est large et peut englober toute une variété de dépenses de protection sociale. Kvist propose une définition quelque peu différente : l'investissement social correspond « aux politiques qui permettent d'améliorer ou d'apporter davantage de compétences/connaissances aux individus et de les utiliser et entretenir ». De Deken est le premier à fournir une liste de dépenses de protection sociale devant être intégrées dans un indicateur d'investissement social et pouvant servir de schéma à son élaboration.¹⁶

En revenant sur notre objet d'étude nous trouvons que les entreprises de grande taille TFM, KCC, RUASHI MINING et CHEMAF ont fait des réalisations aussi bien à l'intérieur qu'en dehors de leurs périmètres d'exploitation. Pour ce qui est des entreprises occidentales, TFM a réalisé sur le plan de l'éducation des masses la réfection et la construction de trois écoles à Tenke et à Fungurume et trois autres écoles ont été construites dans les villages de relocalisation et les populations avoisinantes. Des écoles secondaires ont été également réfectionnées comme l'institut Lupeto. L'accès à l'eau potable est assuré à l'intérieur de sa concession: 5 robinets à Fungurume et 5 autres à Tenke. Un centre de santé a été construit à Amoni et un autre à Kiboko. Les paysans bénéficient d'un encadrement dans sa concession par un financement en engrais et autres intrants, et un accompagnement par un agronome. KCC compte aussi à son actif beaucoup de réalisations dans le secteur de l'éducation: des écoles primaires ont été construites à Walemba, à Mupandja et à Kamanyola; des écoles secondaires réhabilitées comme le collège Jean XXIII, l'Athénée de Kolwezi et l'école secondaire NURU de l'Eglise méthodiste unie. Dans le domaine de la santé, cinq puits ont été forés et équipés dans la cité de Mutoshi et un hôpital a été construit à Kamoto.

Les entreprises occidentales de petite taille ont elles aussi fait des réalisations. MMG soutient l'éducation des enfants dans le voisinage de la mine: deux écoles ont été construites et équipées en 2008 à Kinsevere et à Mwombo mwewa. Environ 1300 élèves y sont inscrits chaque année. Deux salles de classes ont été construites à Sela pour un montant de 22.000 USD. Au cours de l'année 2008, MMG avait construit une clinique. SEK aussi a construit une école moderne et placé des bornes fontaines.

Les entreprises asiatiques de grande taille ont elles aussi été remarquables dans le domaine du social. CHEMAF a construit trois écoles de 15 salles de classes, octroyé des bourses d'étude à certains étudiants de l'Université de Lubumbashi. Elle a offert de l'équipement technique de laboratoire à la même université. Aussi 4 transformateurs d'au moins 400 Kilowatts ont-ils été donnés pour la fourniture en électricité. Au niveau de la santé, les opérations et les soins gratuits de malformation de lèvre (Bec de lièvre) et les soins ophtalmologiques sont dispensés à travers toute la province du Katanga par le biais de son dispositif Shalina Eye Clinic. Concernant RUASHI MINING, elle approvisionne la commune de RUASHI en eau potable et a fourni à la même commune deux transformateurs pour résoudre le problème d'énergie électrique.

Quant aux entreprises asiatiques de petite taille, aucune action d'éclat n'a été enregistrée pour CONGO LOYALS WILLS, tandis que pour CONGO DONG FONG les actions sociales se confondent aux besoins de son fonctionnement. Quant à CDM, afin de répondre aux besoins en eaux et en énergie électrique pour le bon fonctionnement de son usine, elle recourt à deux puits localisés à quelques mètres de l'usine.

¹⁵ Hübler, M., et Keller, A., « Energy Savings via FDI? Empirical Evidence from Developing Countries. *Environment and Development Economics* », *Cambridge Journals*, vol 15 n°1, pp. 59-80, 2010

¹⁶ OCDE, *L'investissement direct au service du développement : Optimiser les avantages, Minimiser les coûts*, Paris, 2002

Après ce développement du social des entreprises minières, voyons ce qu'elles font sur l'environnement.

3.3 SUR LE PLAN ENVIRONNEMENTAL

Concernant les entreprises occidentales de grande taille, TFM s'est engagé à réduire les impacts négatifs sur l'environnement (eau, sol et air). Les effluents sont traités et évacués vers un grand bassin dont le fond est recouvert d'une membrane qui empêche tout contact avec le sol. L'eau est traitée et renvoyée vers l'usine. KCC par contre enregistre beaucoup de plaintes de la part de la population, qui l'accuse d'être auteur des fissures dans les maisons de Musonoi et de la pollution de la rivière Luilu. En 2011, Lors de notre visite, un système de drainage des effluents avait été installé, permettant de renvoyer les rejets vers l'ancienne usine de Mupine.

Pour ce qui est des entreprises occidentale de petite taille, l'investissement MMG est si cossaient que la quantité de concentration des métaux sous le sol est un danger pour les espèces de plantes très spéciales. L'université de Lubumbashi avec l'appui d'Anvil Mining (ancienne structure de MMG) s'est embarquée sur un programme unique en son genre de surveillance et de protection pour sauver les plantes cuivreuses endémiques trouvées sur et autour de Kinsevere.

SEK présente des problèmes environnementaux: son usine n'est pas bétonnée, les eaux y stagnent par manque de structure de canalisation. L'entreposage des minerais pose un sérieux problème, car il se fait à même le sol avec le risque de la dégrader. Le bassin de décantation des eaux usées de lavage des minerais n'est pas couvert de géo-membrane¹⁷.

Les entreprises asiatiques de grande Taille CHEMAF et RUASHI MINING posent également des problèmes environnementaux sérieux. Les prélèvements des échantillons d'eaux résiduelles des activités minières et industrielles de CHEMAF récoltés à la sortie des usines au niveau de l'institut Njanja de la SNCC renseignent la présence de plusieurs éléments chimiques. Aussi les poussières intérieures dans les quartiers de Tshiamilemba et Kabetsha ont-elles une grande concentration des métaux.

RUASHI MINING, pour sa part, est à la base de la déforestation de la forêt claire type miombo. Les espèces animales ou végétales qui existaient n'ont pas été protégées. Aussi aucune mesure de remise en l'état de cette espèce n'est perceptible.

Pour ce qui est des entreprises asiatiques de petite taille, CONGO DONG FONG fait l'objet de plusieurs accusations provenant de la population à cause de la pollution dont il est l'auteur. Le cas des étangs le long de la rivière Kamisepe est éloquent.

Après ce panorama, faisons remarquer que les EIE (études d'impact environnemental) et PGEP (le plan de gestion environnemental de projet) de ces entreprises ne sont pas toujours accessibles ni aux services étatiques ni aux chercheurs. Plusieurs barrières expliquent cela, notamment la langue utilisée dans la rédaction du document (TFM, MMG) qui est en anglais, les barrières politiques liées aux bailleurs de fonds au niveau international (FMI, Banque Mondiale) et national, par l'implication des autorités dans la gestion des entreprises et, enfin, les barrières de compétences des services commis au secteur minier dans leur évaluation.

4 CONCLUSION

Le rapport entre IDE minier et développement durable, comme nous venons de le démontrer dans l'étude des cas en fonction de la taille et l'origine des investissements, se résume en termes de leur contribution sur les plans économique (impôts, taxes et redevance), social (écoles, création de bornes fontaines) et environnemental (les mécanismes internes de protection de l'environnement en rapport avec la technologie d'exploitation). Mais certaines barrières politiques, linguistiques et de compétences, selon le contexte de la signature du contrat, diminuent le niveau de contribution des investissements sous examen au développement durable. Ainsi, les services de l'Etat, les organisations de la société civile et les communautés riveraines ont du mal à apprécier cette contribution des entreprises minières qui doit être endogénéisée dans une synergie d'ensemble. Rappelons que l'objectif de l'investissement privé étranger n'est pas le développement du pays d'accueil, mais la réalisation de son profit.

Le développement durable est un objectif de politique publique qui ne peut être laissé à la seule appréciation des entreprises privées.

¹⁷ Leonard, H.J., *Pollution and the Struggle for the World Product*, Cambridge University Press, Cambridge, 1988

D'où la nécessité d'un arbitrage entre les objectifs économiques et les objectifs politiques. A cette fin, l'existence d'un plan stratégique de développement durable du Katanga serait une référence générale de base, dans laquelle les IDE devraient intégrer leurs contributions économiques, sociales et environnementales.

REFERENCES

- [1] Avinash Dixit & Robert Pindyck., *Investment Under Uncertainty*, Princeton Univ. Press, 1994
- [2] Gallagher, K., et Zarsky, L., *The Enclave Economy*, MIT Press, 2007
- [3] Johnstone, N., *Environmental Policy and Corporate Behaviour*, Edward Elgar Publishing, 2007
- [4] Leonard, H.J., *Pollution and the Struggle for the World Product*, Cambridge University Press, Cambridge, 1988
- [5] Royer Bernard, M., *investissement socialement responsable*, éditions Arnaud franel, 2009.
- [6] Vernon, R., « International Investment and International Trade in the Product Cycle », *Quarterly Journal of Economics*, Vol 80, mai 1966, pp. 190-207
- [7] Levinson, A., « Environmental Regulations Sand Manufacturers' Location Choices: Evidence from the Census of Manufactures », *Journal of Public Economics*, vol. 61, n°1, 1996
- [8] Chédor, S., et Mucchielli, J-L., « Implantation à l'étranger et performance à l'exportation. Une analyse empirique sur les implantations des firmes françaises », *Revue Économique*, vol. 49, n°3, 1998, pp. 617-628
- [9] Fontagné, L., et Pajot, M., « Investissement direct à l'étranger et échanges extérieurs : un impact plus fort aux États-Unis qu'en France », *Économie et Statistique*, n° 326-327, 1999, pp. 71-95
- [10] Neumayer, E., « Pollution Havens : An Analysis of Policy Options for Dealing with an Elusive Phenomenon », *The Journal of Environment Development*, vol 10, n°2, pp. 147-177, juin 2001
- [11] Alfaro, L., « Foreign Direct Investment and Growth : Does the Sector Matter ? », *Harvard Business School*, avril 2003
- [12] Martins, P., « Do Foreign Firms really pay higher Wages? Evidence from different Estimators », *IZA Discussion Paper Series*, n°1388, novembre 2004
- [13] Malchow-Moller, N., Markusen, J., et Schjerning, B., « Foreign Firms, Domestic Workers », *NBER Working Paper*, n°13001, 2007
- [14] Bloom, N., Kretschme, T., et Van Reenen, R., « Work Life Balance, Management Practices and Productivity », in R. Freedman et K. Shaw (eds.), *International Differences in Business Practices and the Productivity of Firms*, NBER: University of Chicago, 2008
- [15] OCDE, *Définition de référence des investissements directs internationaux*, 4ème édition, Paris, 2008.
- [16] Hübler, M., et Keller, A., « Energy Savings via FDI? Empirical Evidence from Developing Countries. Environment and Development Economics », *Cambridge Journals*, vol 15 n°1, pp. 59-80, 2010
- [17] OCDE, *L'investissement direct au service du développement : Optimiser les avantages, Minimiser les coûts*, Paris, 2002
- [18] Loi n° 004/2002 portant code des investissements de la RD Congo du 21 Février 2002.
- [19] DGI/RDC, rapport sur le paiement déclaré des entreprises minières, 2009.
- [20] DGRAD/RDC, paiements déclarés annuels, 2009.
- [21] DGDA/RDC, déclaration douanière annuelle, 2009.
- [22] <https://fr.wikipedia.org/>

Profil d'altération et potentiel aquifère en zone de socle cristallin au Sud de la Côte d'Ivoire

[Weathering profile and aquifer potential in crystalline basement area south of the Côte d'Ivoire]

Abé Parfait SOMBO¹, Kouassi Eric Germain KOUAKOU², Francis William KOUASSI³, Aimé KOUDOU¹, and Goha René BIE¹

¹Département de Géosciences Environnement et Eau, UFR Environnement,
Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa,
BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²Département de Géosciences, UFR des Sciences Biologiques,
Université Péléforo Gon Coulibaly de Korhogo,
B.P 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

³Laboratoire Géosciences et Environnement, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement,
Université Nangui Abrogoua,
02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: This study aims the description of the geometry of the weathering profile and identification of areas of high aquifer potential of geological formations in the region of Sikensi-Tiassalé (south of Côte d'Ivoire). For this reason, the weathering profile models have been established for this region. These models were carried out from drilling data implanted in the study area. The formations in the basement have a vertical structure and a significant horizontal heterogeneity that is allocated to changes in facies. A succession of several layers is observed. Fractured and altered basement is observed in its upper part. Fractures are scarce with depth. Superficial formations overlying the basement have variable thicknesses: To the surface, there is laterite cuirass and topsoil, thicknesses between 0.5 and 3.5 m. Underneath the laterite, there is the sandy clay alterites of thicknesses between 5 and 40 m, in which one can identify horizons of allotérites and isaltérites. The water potential is important in the fractured base because all arrivals of water is only found in this part of the geological formations.

KEYWORDS: Weathering, allotérites, isaltérites, water potential, Côte d'Ivoire.

RESUME: Cette étude vise la description de la géométrie du profil d'altération et la détermination des zones de fortes potentialités aquifères des formations géologiques de la région de Sikensi-Tiassalé (Sud de la Côte d'Ivoire). Pour cela, des modèles de profils d'altération ont été établis pour cette région. Ces modèles ont réalisé à partir des données de forages implantés dans la zone d'étude. Les formations dans le sous-sol décrivent non seulement une structuration verticale et une hétérogénéité horizontale importante qui est attribuée aux changements de faciès. On observe une succession de plusieurs couches de terrain. On distingue un socle fracturé plus ou moins altérée dans sa partie supérieure. Les fractures deviennent rares avec la profondeur. Le socle est surmonté de formations superficielles d'épaisseurs très variables : plus en surface on observe de la cuirasse latéritique et/ou de terre arable d'épaisseur comprise entre 0,5 et 3,5 m. En dessous, on rencontre les altérites argilo-sableux (5 à 40 m d'épaisseur) dans lesquels on peut distinguer les horizons d'allotérites et d'isaltérites. La

potentialité en eau est importante dans le milieu fracturé du socle cristallin car l'ensemble des arrivées d'eau est uniquement observé dans cette partie des formations géologiques.

MOTS-CLEFS: Altération, allotérites, isaltérites, potentialité en eau, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Les régions de socle renferment des aquifères considérés "discontinus", en raison de l'importante fracturation qui affecte la roche mère. Ces réservoirs souterrains sont généralement surmontés d'horizons superficiels altérés de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. L'ensemble constitue un profil d'altération qui peut varier selon la nature du substratum. Du point de vue structural, les aquifères de socle présentent des hétérogénéités verticales importantes (aquifères composites avec plusieurs compartiments ayant des géométries et des propriétés hydrauliques distinctes) ainsi que des hétérogénéités horizontales significatives attribuées aux variations lithologiques. Un des challenges de l'étude hydrogéologique quantitative est la modélisation de l'écoulement dans ces formations, en vue d'en évaluer les actions à mener pour une gestion durable de ces hydrosystèmes [1], [2], [3]. La compréhension de l'hydrodynamisme des aquifères nécessite la connaissance exacte de la structure du sous-sol. L'analyse morphologique et lithologique des processus d'altération de la structure apportent un appui considérable à la reconnaissance de ces réservoirs peu profonds, à la gestion de leur ressource en eau et à la préservation ou la restauration de sa qualité [4]. Cette étude vise la description de la géométrie du profil d'altération et la détermination des zones de fortes potentialités aquifères des formations géologiques de la région de Sikensi-Tiassalé (Sud de la Côte d'Ivoire). Pour atteindre cet objectif les logs de forages de la région sont mis à contribution.

CADRE GEOGRAPHIQUE, GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

La région de Sikensi-Tiassalé est située au Sud de la Côte d'Ivoire, entre les latitudes 5°32' et 6°23' Nord et les longitudes 4°24' et 5°14' Ouest (Figure 1). Elle abrite de nombreuses localités dont Bécédi, Elibou, Gomon, Katadji, Sahuyé, N'douci, Taabo, Singrobo, Pacobo, Ahérérou, Kodiébourman, Sokrobo, etc. Le relief assez monotone avec une altitude moyenne de 80 m est localement interrompu par des collines. La région appartient à la zone intertropicale et est dominée par des climats chauds équatoriaux humides et tropicaux secs avec des précipitations comprises entre 1200 et 1500 mm de pluies. Ce qui occasionne une végétation abritant une gamme riche et colorée de plantes tropicales. La région est également caractérisée par un réseau hydrographique très dense avec deux grands fleuves au tracé sinueux : le Bandama et N'Zi.

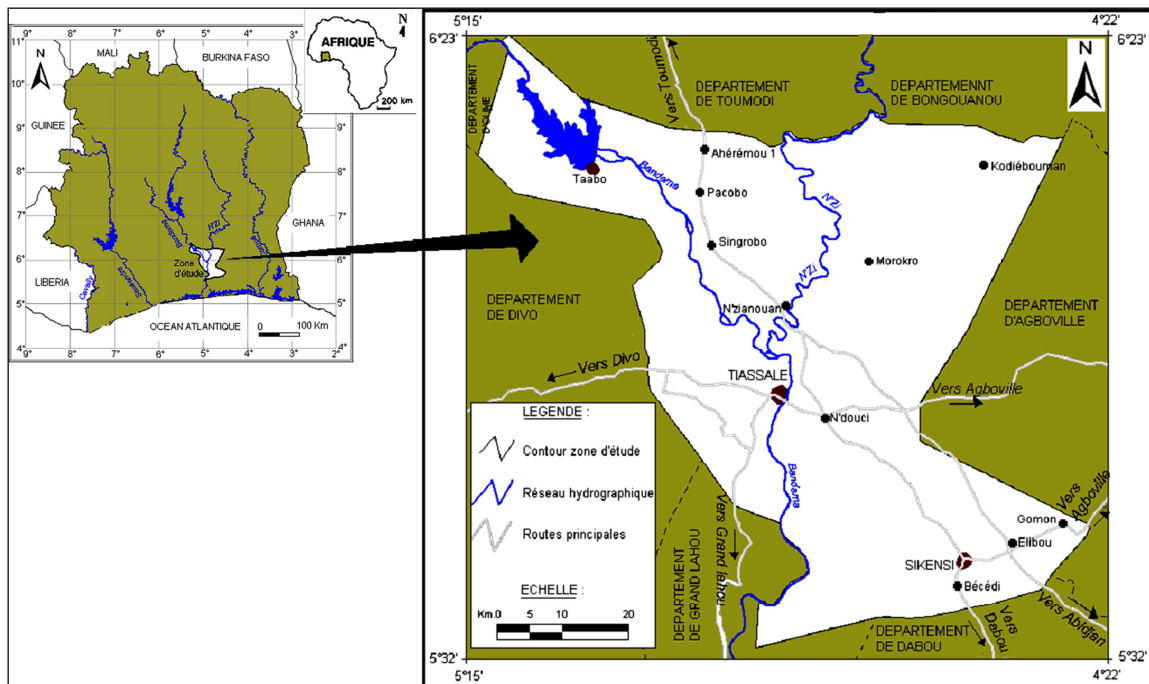


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

Sur le plan géologique, Sikensi-Tiassalé appartient au domaine paléoprotérozoïque. Les formations sont essentiellement des métasédiments schisteux (métaarénites et métasiltstones) et des intrusions granitiques (Figure 2). Elles ont subi des modifications postérieures (phénomènes tectoniques et d'altérations) à leur mise en place. La présence de fractures dans le substratum rocheux leur confère des fonctions drainantes. Les fractures affectant ces formations sont principalement d'orientation N-S [5]. Ces modifications engendrent deux types d'aquifères : (i) les aquifères d'altérites, continus, capacitifs et fortement influencés par les variations saisonnières ; (ii) les aquifères de fractures se développant dans le socle cristallin et cristallophyllien d'une importance capitale en hydrogéologie. Dans la plus part des cas l'ensemble altérite-horizon fissuré constitue un aquifère composite qui fonctionne comme un tout, surtout lorsqu'il est exploité au moyen de forages [6].

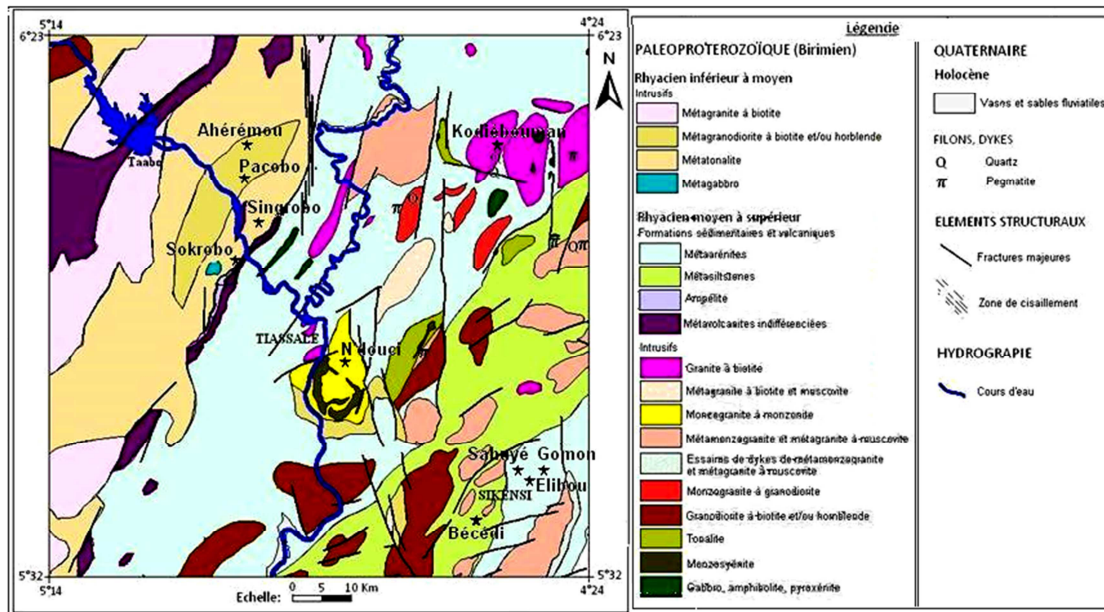


Fig. 2. Carte géologique de la région de Sikensi-Tiassalé

2 METHODOLOGIE

L'étude du potentiel aquifère associée au profil d'altération des formations géologiques de Sikensi-Tiassalé a abouti à la réalisation de modèles conceptuels des réservoirs aquifères. Ces modèles sont établis essentiellement sur la base des différents résultats de forages antérieurement exécutés dans la région. L'on a utilisé pour réaliser les blocs diagrammes les différentes épaisseurs d'altérites, les épaisseurs de chaque couche d'altérites, les profondeurs du socle sain, les arrivées d'eau et les débits d'exploitation relevés sur chaque forage.

3 RESULTATS

3.1 PROFIL D'ALTERATION

Les blocs diagrammes de la figure 3 présentent la géométrie du profil d'altération de certaines zones de la région de Sikensi-Tiassalé. Ces modèles obéissent à une structuration verticale quel que soit la nature du substratum rocheux. Partant de la surface du sol, trois grands horizons se distinguent : (i) la cuirasse latéritique et/ou la terre arable ; (ii) les altérites argilo-sableuses (iii) la frange fracturée du socle.

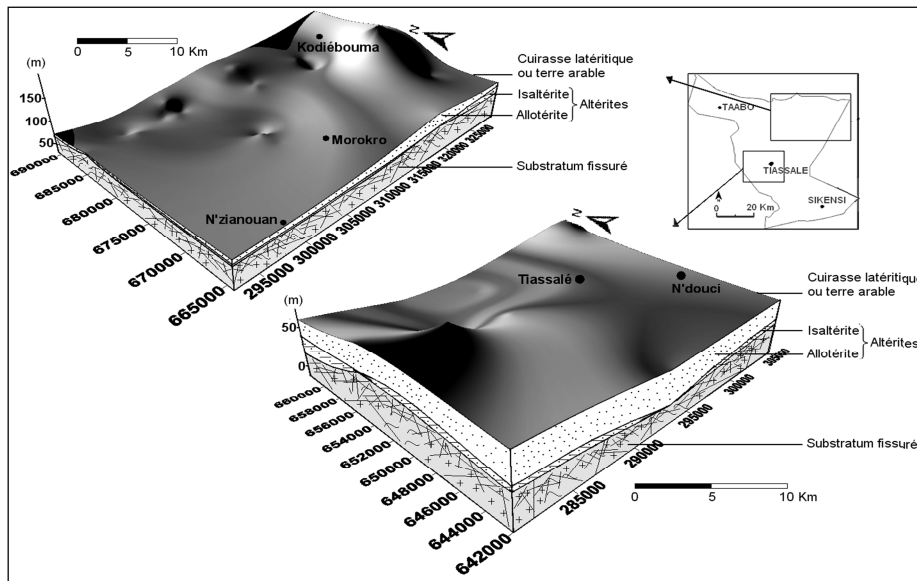


Fig. 3. Blocs diagrammes du profil d'altération du Nord-Ouest et du Centre de la région de Sikensi-Tiassalé.

CUIRASSE LATÉRIQUE ET/OU LA TERRE ARABLE

Dans la région de Sikensi-Tiassalé la cuirasse latéritique, dure, parfois compacte et de faible épaisseur (0,5 à 3 m), est généralement observée au niveau des métasédiments schisteux. En milieu granitique, elle est le plus souvent absente. Malgré cette opacité, la cuirasse a une perméabilité assez importante pour favoriser une percolation lente dans les terrains altérés sous-jacents et un écoulement latéral assez rapide vers les axes de drainage. Elle est parfois surmontée d'une très faible couche de sol arable (inférieure à 0,5 m). Dans les bas-fonds, la cuirasse est généralement absente. Elle est remplacée par de la terre arable ou des alluvions qui peut atteindre localement 3,5 m d'épaisseur sur les formations granitiques. Ce terrain cultivable est formé d'un sol humifère chargé de matières organiques et d'une importante quantité de graviers quartzeux remaniés, issus des nombreux filons de quartz arrachés par le transit de matériel le long des versants.

ALTERITES ARGILO-SABLEUSES

Les fiches techniques des forages étudiés montrent que les altérites argilo-sableuses forment un ensemble de couches qui présentent plus une succession graduelle que des horizons bien individualisés. Toutefois, à partir de la structure des différentes couches on peut distinguer deux grands horizons dans ces altérites. Le premier groupe, les allotérites plus proche de la surface, possède une structure secondaire dans laquelle la structuration de la roche mère n'est plus identifiable. Le second groupement, les isaltérites conserve plus ou moins la structure de la roche mère.

Sur le substratum schisteux, les horizons d'allotérites ne présentent aucune trace de schistosité et sont caractérisée par des couches d'argiles et d'argiles sableuses, boueuses, de teintes rougeâtres (Figure 4a). Sur le socle granitique c'est une succession de kaolinite blanche et de sables (Figure 4b). Le phénomène de ferruginisation est donc plus intense en milieu de schistes. Des débris grossiers sous forme d'arènes schisteuses ou de blocs granitiques sains, sous la couche isaltérite constituent une zone de transition entre les altérites et la frange fracturée du socle.

L'épaisseur des altérites (allotérites et isaltérites) est très variable dans la région. Elle est plus importante sur les schistes que sur les granites. Elle atteint à moyenne 25 m au niveau des schistes et 15 m sur les granites. Localement elle avoisine 40 m.

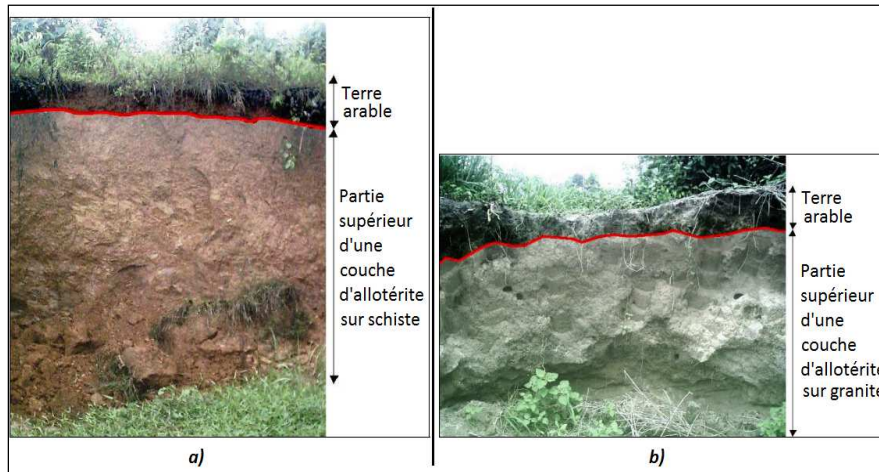


Fig. 4. Coupe d'allotérite. a) sur schiste à Sikensi ; b) sur granite à Tiassalé.

3.2 FRANGE FRACTUREE

Il s'agit d'horizons fissurés surmontant le substratum schisteux ou granitique sain. Ces horizons présentent une légère altération qui diminue avec la profondeur. Au-delà de la zone altérée du socle, les fractures alternent souvent avec une zone saine du socle. Dans la région étudiée l'épaisseur de l'horizon fissuré est significative et varie entre 5 et 25 m. La frange fracturée correspond le plus souvent une zone humide ou aux arrivées d'eau.

La figure 5 montre un toit de socle peu accidenté. Dans l'ensemble, l'allure du toit de socle suit plus ou moins la topographie de la surface du sol. On distingue des zones de dépressions dans les environs de Sikensi (Badasso) et à Broukro (S/P de Tiassalé). A la surface du sol, ces dépressions correspondent aux zones de basses altitudes. Elles peuvent constituer des seuils hydrauliques pour les eaux souterraines, car ces eaux peuvent s'y accumuler et par conséquent constituées des sites de captages d'eau souterraine. On observe également des pointements du socle, dont le plus accentué est situé au niveau de Kodiébouman (S/P de Tiassalé).

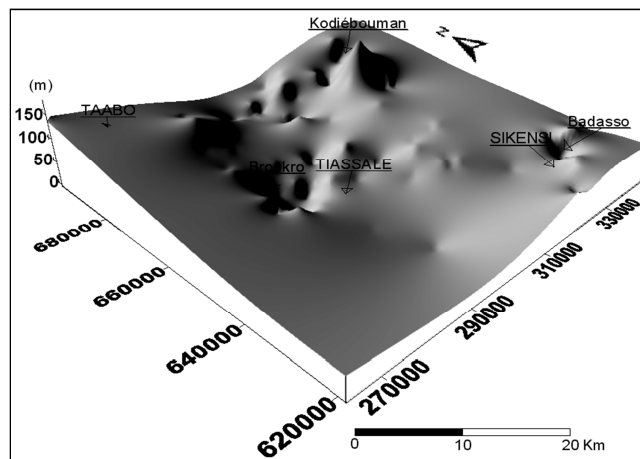


Fig. 5. Morphologie du toit de substratum de la région de Sikensi-Tiassalé

3.3 PROFIL D'ALTERATION ET POTENTIEL AQUIFERE

Les arrivées d'eau (AE) enregistrées dans les différents forages de la région ont permis de réaliser des blocs diagrammes des arrivées d'eau par rapport au profil d'altération (Figure 6). Ces modèles permettent de visualiser les zones de fortes potentialités aquifères. L'analyse de ces diagrammes montre que les arrivées d'eau sont signalées uniquement dans la frange fissurée du socle. Aucune arrivée d'eau n'est signalée dans les horizons altérés (allotérites et isaltérites). Les venues d'eau

dans les forages sont donc liées à la fracturation du socle cristallin et métamorphique. La frange fissurée du socle de la région de Sikensi-Tiassalé constitue une zone à potentiel aquifère par rapport aux horizons altérés.

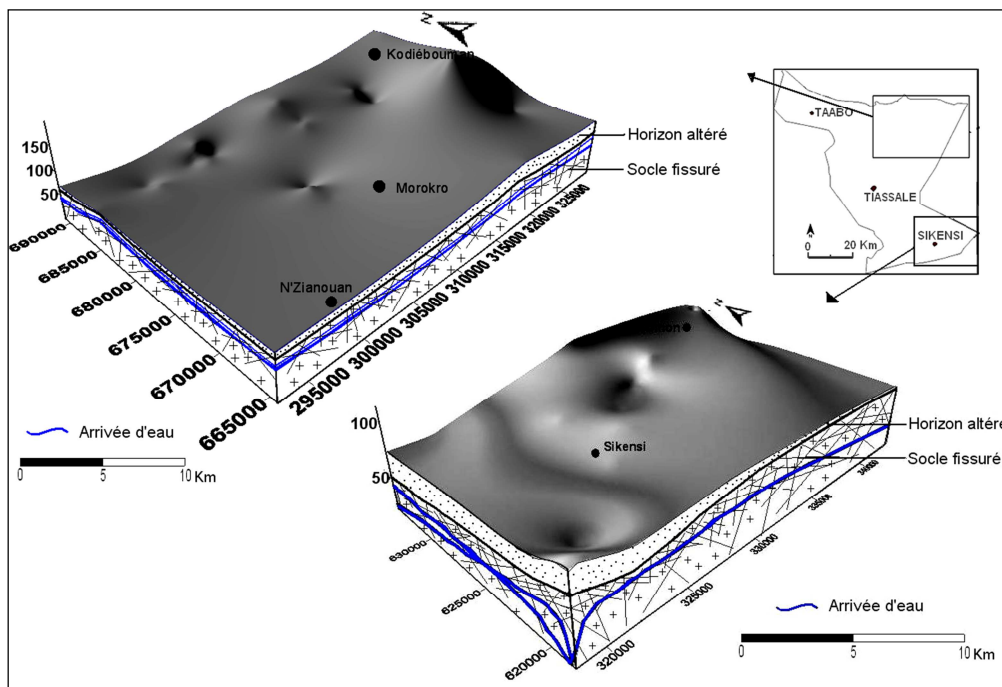


Fig. 6. Modèle conceptuel des arrivées d'eau en rapport avec le profil d'altération

L'étude de la distribution des venues d'eau dans le socle a montré que la profondeur des AE est comprise entre 7 et 80 m. Entre 40 et 50 m ces AE en plus d'être optimales, présentent des débits maximaux ($Q > 5 \text{ m}^3/\text{h}$) (Figure 7). Dans le profil d'altération des formations de la région de Sikensi-Tiassalé les profondeurs 40 à 50 m correspondent à la zone du socle la plus productive. Il faut néanmoins signaler que des débits moins importants (faibles, $Q < 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ et moyens, $2,5 < Q < 5 \text{ m}^3/\text{h}$) sont également obtenus à ces profondeurs. Les débits faibles à moyens sont aussi observés avant et après l'intervalle de profondeurs 40 à 50 m. Au-delà de 80 m de profondeur la fréquence des arrivées d'eau diminue avec les débits

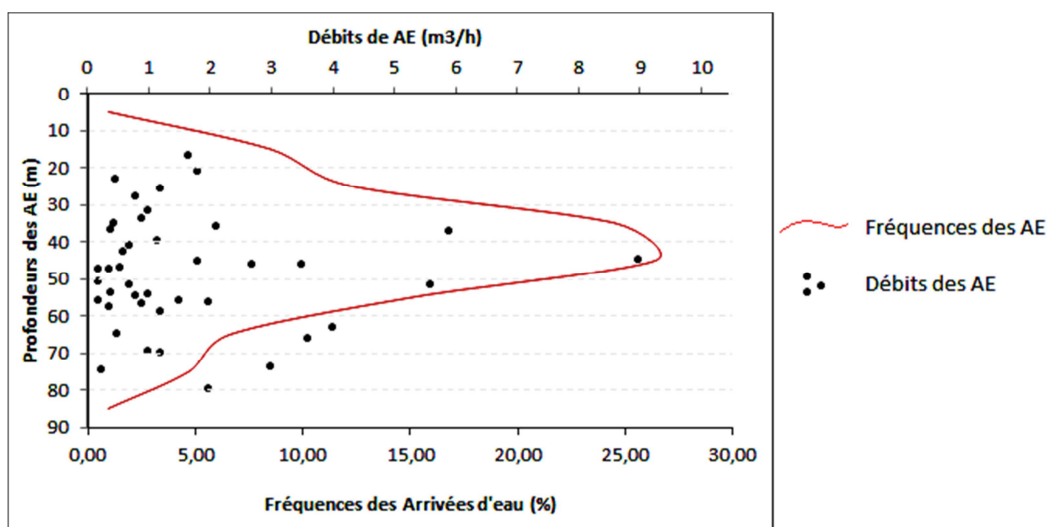


Fig. 7. Distribution des débits et des fréquences des arrivées d'eau avec la profondeur

La profondeur des AE varie aussi en fonction de la nature du substratum. Dans les schistes la fréquence d'arrivées d'eau est optimale à des profondeurs plus importantes (entre 40 et 50 m), qu'en milieu granitique (inférieures à 40 m). Contrairement aux schistes où les débits les plus élevés correspondent aux zones de forte fréquence des AE, dans les granites les zones à fréquence optimale d'AE correspondent essentiellement à des débits faibles de venues d'eau (Figures 8 et 9).

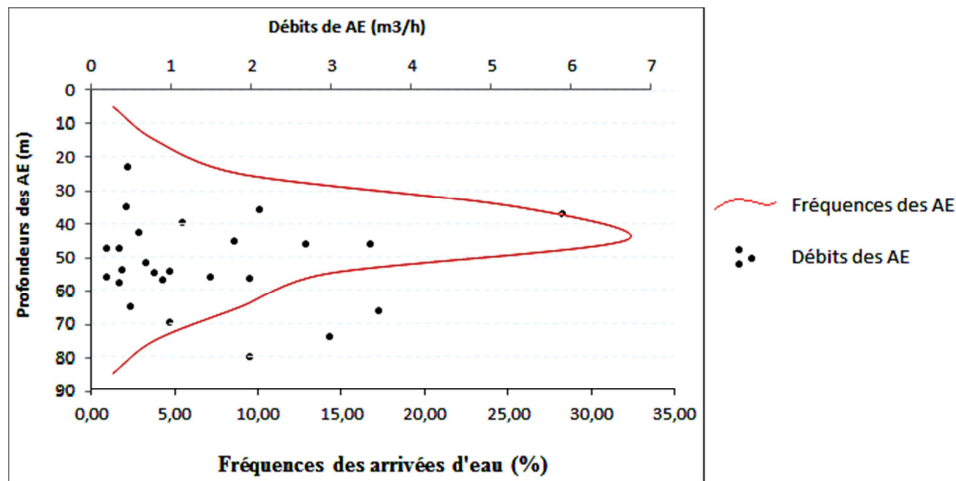


Fig. 8. Distribution des débits et des fréquences des arrivées d'eau avec la profondeur sur les formations de schistes

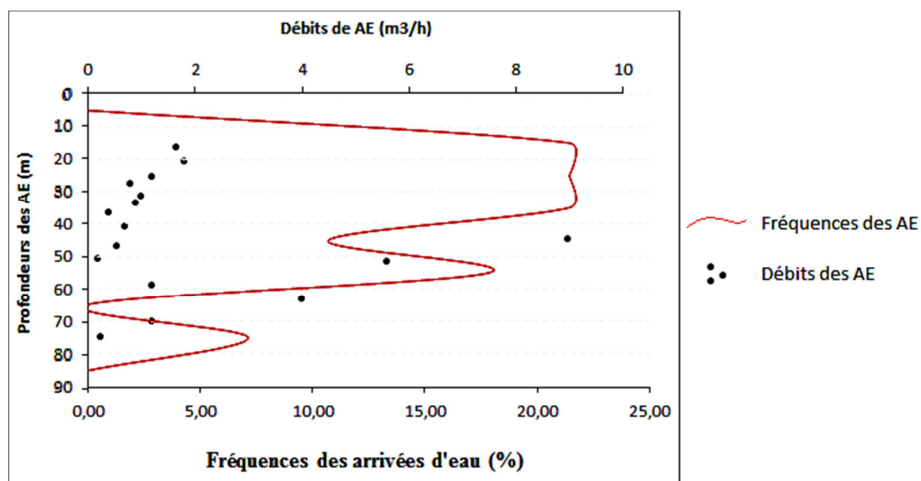


Fig. 9. Distribution des débits et des fréquences des arrivées d'eau avec la profondeur sur les formations granitiques

4 DISCUSSION

Le sous bassement rocheux de la Côte d'Ivoire a subi pendant sa mise en place, plusieurs phases de déformations. Les phénomènes tectoniques qui les accompagnent ont créés un environnement hydrogéologique favorable à l'existence d'aquifères à même d'emmagasiner et de drainer les eaux souterraines aussi bien dans les massifs granitiques que dans les métasédiments schisteux. Ces aquifères, selon [5], [7], [8], [9] sont associés à des formations dont le profil d'altération obéit à une structuration verticale. Comme les résultats obtenus dans le sous-sol de la région de Sikensi-Tiassalé, ces auteurs ont montré que le profil d'altération dans les formations de leurs zones d'étude peut être subdivisé en trois grands horizons distincts dans lesquels on rencontre des aquifères différents. Ce sont : (i) la cuirasse latéritique et/ou la terre arable, (ii) les altérites argilo-sableuses (allotérites et isaltérites) formant les aquifères d'altérites et (iii) la frange fracturée du socle constituant les aquifères fissurés. Pour [4], ces différents horizons constituent un aquifère composite, dont les propriétés hydrogéologiques sont optimales dans les secteurs où les trois compartiments décrits sont présents et où ils combinent au mieux leurs caractéristiques hydrodynamiques. Ils jugent que du fait de la connexion entre les aquifères superficiels (altérites) et les aquifères profonds (fracturés), leurs modalités d'alimentation peuvent être associées car c'est le couplage des altérites et de leur substratum fissuré qui forme des systèmes aquifères exploitables. Pour [10], ils sont généralement de

faible étendue et leurs limites sont mal définies. Cependant, ils sont présents dans tous les massifs de terrains de socle où leur organisation est le plus souvent subordonnée aux structures hydrographiques.

Dans les aquifères décrits, l'épaisseur d'altération en milieu granitique est généralement moins importante que celle des formations schisteuses. Pourtant les horizons altérés au-dessus des différentes roches de la zone d'étude subissent les mêmes cycles d'altération et d'érosion durant les fluctuations climatiques. Selon [9], cette inégalité d'épaisseurs est liée essentiellement à la nature de roche mère. Il pense que la différence d'épaisseur entre les profils d'altération de ces deux types de formations est liée d'une part à l'aptitude au cuirassement de la roche en place (ou du profil d'altération associé) et d'autre part au démantèlement des profils d'altération cuirassés. En effet, les observations de terrain ont révélées que les altérites qui se forment sur les formations granitiques sont généralement de nature arénitique. Elles sont moins cuirassées que sur les schistes. Elles sont donc moins résistantes au démantèlement que les altérites issues des schistes. Les altérites au niveau des formations granitiques subissent plusieurs cycles de démantèlement au cours des épisodes d'érosion. Ce démantèlement est favorisé par l'absence d'horizons cuirassés dans le profil. Elles manquent donc d'horizons superficiels résistants au processus d'érosion. [5] ajoute que la cuirasse joue un rôle important dans la morphologie de la surface du sol. Elle constitue une zone de plus grande résistance à l'érosion mécanique et chimique, par rapport aux manteaux d'altération non protégés et imprime un caractère accidenté au paysage. Il soutient également que les forts horizons altérés observés en milieu de schistes peuvent être dus à la capacité des schistes à s'altérer plus facilement par rapport aux granites. Par manque d'affleurements, les altérites peuvent être un signe indicatif au cours d'une prospection géologique quant à la détermination de la nature de la roche sous-jacente ([11], [5]). C'est le cas, notamment des argiles sableuses blanchâtres observés sur l'axe Tiassalé-N'douci, témoignant la présence de formations granitiques. Les sables rougeâtres rencontrés à Sikensi sont témoins de la présence de formations schisteuses.

Les aquifères d'altérites et de fractures offrent des ressources en eau modestes mais assez largement réparties qui servent à l'alimentation en eau rurale ou pastorale voire à l'irrigation localisée. Ces aquifères entretiennent aussi les réseaux hydrographiques pérennes. La présence d'une nappe superficielle est essentiellement due aux nombreux espaces interstitiels des particules de roches qui quand ils communiquent permettent à l'eau de circuler à travers la roche ([4], [7], [12]). Elle est également commandée par la morphologie du sol et par la puissance des formations altérées. Les altérites assurent en effet une fonction de stockage des eaux souterraines. Pour [13] les stocks d'eau de ces réservoirs dépendent de leur volume (épaisseur et extension spatiale), de la perméabilité verticale des horizons superposés qui contrôle l'infiltration, et du niveau piézométrique des altérites. Elles constituent le premier réservoir contenant généralement une nappe libre et qui est plus accessible au monde paysan. La présence d'une nappe profonde est influencée par les fractures affectant le socle. La productivité des aquifères profonds dépend en partie de la nature des faciès géologiques, de leur minéralogique et des phénomènes tectoniques survenus au cours de l'histoire géologique de la région ([7], [12]). Elle dépend aussi de l'importance des formations superficielles.

L'importante épaisseur d'altérites aura un effet favorable sur la fonction capacitive de l'aquifère d'altérites (et donc la pérennité du débit) ainsi que sur la fonction drainante de l'aquifère de fissures en relation avec les fractures majeures (ce qui conditionne le débit maximum instantané) ([9]). Une importante épaisseur des altérites peut devenir aussi un facteur de productivité dans la réalimentation des aquifères fissurés à condition que celles-ci présentent une bonne perméabilité. Dans le cas contraire, elles tendent à s'opposer à la réalimentation des fractures sous-jacentes. L'accroissement des épaisseurs d'altérites contribuera à obstruer les voies de circulation des eaux dans les fractures. Ce qui constitue un frein à l'alimentation des nappes de fissures ([7], [14]). Avec des épaisseurs d'altérites très faibles, la fonction capacitive, au niveau de l'aquifère superficiel, n'est pas assurée ([11]). La région de Sikensi-Tiassalé, dans son ensemble, est dominée par de faibles épaisseurs d'altération (inférieures à 15 m). En effet, les faibles épaisseurs d'altérites ne peuvent emmagasiner normalement qu'une très faible quantité d'eau et exposeraient la nappe aux fluctuations saisonnières.

Les eaux souterraines sont disponibles et exploitables dans les formations schisteuses et granitiques. Selon les relevés de forages de la région Sikensi-Tiassalé, les débits forts s'observent aussi bien dans les granites que dans les schistes. Cependant, [7], [15], [16], [17], respectivement dans les régions de la Mé, Marahoué, Dabou, Aboisso et Agboville ont montré que dans les forages réalisés dans les schistes les débits sont généralement supérieurs à ceux réalisés dans les granites. Cette productivité est sans doute liée aux fractures créées par l'ouverture des plans de schistosité de la roche, surtout dans le voisinage des intrusions granitiques. Ces fractures peuvent constituer des collecteurs en eau utilisable et jouer un rôle hydraulique important dans les formations schisteuses. Sous certaines conditions (plans de schistosité fracturées et redressées à la verticale) ces formations deviennent également très productrices ([5], [7]). La présence de formations filoniennes (quartz et pegmatite) traversant le socle schisteux constitue également un facteur non négligeable de productivité ([5]). Le fait qu'une formation géologique (granite) ait été déclarée peu productive qu'une autre (schiste) n'exclut pas la possibilité de rencontrer des débits importants dans celle-ci. En revanche, on pourrait également rencontrer dans les roches dites très productrices des débits qualifiés de faibles ([18]).

Dans les forages de la région de Sikensi-Tiassalé les débits forts sont les plus représentés. Le pourcentage élevé de ces débits peut s'expliquer par l'utilisation certaine, dans ces deux dernières décennies d'une prospection hydrogéologique combinant les méthodes géophysiques, de photo-interprétation et/ou de télédétection ([5]). Ces outils modernes adaptés à la recherche de fractures souterraines en zone de socle sont utilisés pour révéler la position exacte au sol de la fracture susceptible de fournir un gros débit. Les débits faibles enregistrés peuvent être attribués aux forages implantés seulement sur des considérations géomorphologiques, ne reflétant pas le plus souvent la réalité du sous-sol. Ces débits peuvent également être dus à la présence d'un horizon très argileux, restituant faiblement l'eau emmagasinée. L'absence de zone pouvant stopper la descente progressive des argiles superficielles dans les fissures peut considérablement réduire les débits dans les forages, suite à un colmatage des fissures.

5 CONCLUSION

L'étude des logs de forages dans la région de Sikensi-Tiassalé a permis de mettre en évidence un profil d'altération qui obéit à une structuration verticale. Partant de la surface du sol le profil est constitué : (i) de cuirasse latéritique et/ou de terre arable ; (ii) d'horizons argilo-sableux ; (iii) d'une frange fissurée du substratum. L'ensemble repose sur un socle sain. Les nappes d'eau souterraine captée à partir des forages réalisés dans la région de Sikensi-Tiassalé sont contenues dans les horizons fissurés quel que soit la nature du substratum. En effet, les arrivées d'eau sont signées uniquement dans cette partie du sous-sol. La frange fracturée du socle constitue une zone à potentiel aquifère important.

REFERENCES

- [1] S. S. D. Foster, "African groundwater development, the challenges for hydrogeological science, challenges in African Hydrology and water resources" (*Proceeding of the Harare Symposium, July 1984*). IAHS publ., no. 144, pp. 3-12, 1984.
- [2] J.C. Maréchal, B. Dewandel, and K. Subrahmanyam, "Use of hydraulic tests at different scales to characterize fracture network properties in the weathered fractured layer of a hard rock aquifer" *Water resour. Res.*, 40, W11508, doi: 10.1029/2004WR003137, 2004.
- [3] P. H. Giao, A. Weller, D.H. Hien, and K. Adisornsupawat, "An approach to construct the weathering profile in hilly granitic terrain based on electrical imaging", *Journal of Applied Geophysics* no. 65, pp. 30-38, 2008.
- [4] P. Lachassagne, et R. Wyns, "Application à la prospection et la gestion de la ressource en eau", *Géosciences*, no.2 septembre 2005, pp. 32-37, 2005.
- [5] A. P. Sombo, "Application des méthodes de résistivités électriques dans la détermination et la caractérisation des aquifères de socle en côte d'ivoire. Cas des départements de Sikensi et de Tiassale (sud de la cote d'ivoire)", *Thèse unique de doctorat*, Université de Cocody, Côte d'Ivoire. 203p, 2012.
- [6] B. Dewandel, P. Lachassagne, R. Wyns, J. C. Marechal, and N. S. Rishnamurthy, "A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering", *Journal of Hydrology*, Vol. 330, N°1-2, pp. 260-284, 2006.
- [7] J. Biémi, "Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants Sub-sahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest : Hydrostructurale, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques de la Haute Marahoué (Côte d'Ivoire)", *Thèse d'Etat*, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 480 p, 1992.
- [8] I. Savané, "Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique des aquifères discontinus du socle cristallin d'Odienné (Nord-Ouest) de la Côte d'Ivoire). Apport de la télédétection et un système d'information hydrogéologique à référence spatiale. *Thèse d'Etat*, Université de Cocody, 396 p, 1997.
- [9] M. Koïta, "Caractérisation et modélisation du fonctionnement hydrodynamique d'un aquifère fracturé en zone de socle. Région de Dimbokro-Bongouanou (Centre Est de la Côte d'Ivoire)", *Thèse unique de doctorat*, Université de Montpellier II. 220 p, 2010.
- [10] J. Margat, *Les eaux souterraines dans le monde*. BRGM éditions, 2008.
- [11] D. Same, "Hydrogéologie en zone de socle cristallin et cristallophyllien du Sénégal oriental. Application de la méthode électrique 1D et 2D à la localisation et à la caractérisation des aquifères de batholites de Saraya et ses environs, *Thèse Doctorat 3ème cycle*, Université Cheik Anta Diop, Dakar, 133 p, 1999.
- [12] M. Youan Ta, "Contribution de la télédétection et des systèmes d'informations géographiques à la prospection Hydrogéologique du socle précambrien d'Afrique de L'ouest : cas de la région de Bondoukou (Nord-Est de la côte d'Ivoire), *Thèse de doctorat*, Université de Cocody, 237p, 2008.

- [13] K. T. Yao, "Hydrodynamisme dans les aquifères de socle cristallin et cristallophyllien du sud-ouest de la côte d'ivoire : cas du département de Soubré. Apports de la télédétection, de la géomorphologie et de l'hydrogéochimie", *Thèse de Doctorat*, Université de Cocody (Côte d'Ivoire) et du Conservatoire National des Arts et Métiers (France), 284 p, 2009.
- [14] J. P. Faillat, "Aquifères fissurés en zone tropicale humide : structure, hydrodynamique et hydrochimie (Afrique de l'Ouest)", *Thèse*, Université Languedoc (Montpellier), 534 p, 1986.
- [15] N. Soro, "Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du Sud-Est de la Côte d'Ivoire (bassin versant de la Mé)", *Thèse de Doctorat. 3è cycle*, Université de Grenoble 1, Institut Dolomieu, 239 p, 1987.
- [16] B. Dibi, D. Inza, B. T. A. Goula, I. Savané et J. Biémi, "Analyse statistique des paramètres influençant la productivité des forages d'eau en milieu cristallin et cristallophyllien dans la région d'Aboisso (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)", *Sud sciences & technologies*, n°13, pp22-31, 2004.
- [17] Y. A. N 'go, D. L. Goné, I. Savané et M. M. Goble, "Potentialités en eaux souterraines des aquifères fissurés de la région d'Agboville (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire) : caractérisation hydroclimatique et physique", *Afrique Science* no.1, pp127–144, 2005.
- [18] T. Lasm, F. Kouame, M. S. Oga, J. R. P. Jourda, N. Soro et H. B. Kouadio, "Etude de la productivité des réservoirs fracturés des zones de zones socle. Cas du noyau archéen de Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire)", *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, no.5 pp8, 2004.

État actuel de la biodiversité végétale du territoire de Kimvula au sud-ouest de la République Démocratique du Congo

[Plant biodiversity status of Kimvula territory in the South-West of DR Congo]

Anthony KIKUFI¹, Jean LEJOLY², and Félicien LUKOKI³

¹Laboratoire de Botanique systématique & d'écologie végétale, BP. 190 Kinshasa XI, Université de Kinshasa, RD Congo

²Herbier de l'Université Libre de Bruxelles C.P. 169, Avenue F. Roosevelt, 50. 1050 Bruxelles, Belgique

³Laboratoire de Botanique systématique & d'écologie végétale, BP. 190 Kinshasa XI (Université de Kinshasa), RD Congo

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

ABSTRACT: The present study was carried out in the territory of Kimvula in the south-west of the Democratic Republic of Congo. The floristic survey conducted shows that the Kimvula flora has 1,065 species distributed in 666 genera and 159 families. The best represented families are *Fabaceae* (12.21%), *Poaceae* (7.79%), *Asteraceae* (5.54%), *Rubiaceae* (5.07%), *Apocynaceae* (4.04%) and *Malvaceae* (4.04%). The analysis shows the ecological characteristics, as regards the morphological types, this flora is dominated by woody species (50%) while the dominant life forms are phanerophytes (50%). Examination of leaf dimensions indicates the abundance of mesophyll (37.4%) and sarcochores (36.9%) are the types of diaspores best represented in Kimvula. The results of phytogeography distribution reveal the abundance of wide distribution species (65.5%) and low presence of endemic species (1.6%). The disturbance index (29.30%) shows that ecosystems of the study area are less disturbed and Shannon-Weaver diversity index shows that secondary forest (4.8 bits) is the most diversified plant formation.

KEYWORDS: plant biodiversity, disturbance index, Kimvula, chorologic statutes.

RESUME: La présente étude a été réalisée dans le territoire de Kimvula au Sud-Ouest de la république démocratique du Congo. L'inventaire floristique effectué, montre que la florule de Kimvula compte 1.065 espèces réparties en 666 genres et 159 familles. Les familles les mieux représentées étant: *Fabaceae* (12,21%), *Poaceae* (7,79%), *Asteraceae* (5,54%), *Rubiaceae* (5,07%), *Apocynaceae* (4,04%) et *Malvaceae* (4,04%). L'analyse des caractéristiques écologiques montre, en ce qui concerne les types morphologiques, que cette florule, est dominée par les espèces ligneuses (50%) tandis que les types biologiques dominants sont les phanérophytes (50%). L'examen des dimensions foliaires signale l'abondance des mésophylles (37, 4%) et les sarcochores (36,9%) sont les types de diaspores les mieux représentés à Kimvula. L'observation des résultats phytogéographiques révèle l'abondance des espèces à très large distribution (65, 5%) et une faible présence d'espèces endémiques (1, 6%). L'indice de perturbation (29, 30%) montre que les écosystèmes du territoire étudié sont moins perturbés et le calcul d'indice de diversité de Shannon-Weaver montre que la forêt secondaire (4, 8 bits) est la formation végétale la plus diversifiée.

MOTS-CLEFS: biodiversité végétale, indice de perturbation, Kimvula, statuts chorologiques.

1 INTRODUCTION

1.1 PROBLÉMATIQUE

La flore et la végétation de la République démocratique du Congo n'ont pas toujours été traitées de la même façon dans les différentes provinces. Si pour certaines régions, telle que le Katanga, des études assez exhaustives y ont déjà été réalisées [1], [2], [3], pour d'autres par contre, ces études sont loin d'être complètes: c'est le cas de la province du Kongo central (ex Bas-Congo).

Bien que cette province figure parmi les premières zones explorées par les botanistes européens [4], [5], [6], la connaissance de sa flore demeure encore fragmentaire. Par ailleurs, la rétrospective bibliographique des études botaniques réalisées dans cette partie du pays signale quelques publications notamment: floristiques[7], [8], [9], [10], [11],[12], [13], phytosociologiques[14], [15], [16], [17], [18], [19],[20], écologique [21] , ethnobotaniques[22], [23], [24] et anatomique[25].

Cependant, malgré ces quelques études se rapportant à cette province, très peu ont été consacrées à la flore ou à la végétation du territoire de Kimvula [16], [10], [11], [13], [26], [21]. Pourtant, Kimvula est l'un des territoires du Kongo central qui présente des particularités phytogéographiques du fait de sa position car situé dans la zone de transition régionale guinéo-congolaise/zambésienne au sens de White [27].

Par ailleurs, certaines formations végétales présentes, dans ce territoire, subissent régulièrement les impacts d'activités anthropiques qui, à terme, risquent d'entraîner inéluctablement leur disparition peut-être avant même d'avoir complètement livré le contenu de leur biodiversité!

D'ailleurs, la politique nationale en matière environnementale recommande l'affectation de 15% du territoire national aux aires protégées [28] mais comment y parvenir si l'on ignore la composition, la structure et même la dynamique des principaux écosystèmes de nos territoires respectifs? Comment pourrait-on inculquer aux plus jeunes les notions de conservation ou d'exploitation durable s'ils ne connaissent la valeur des écosystèmes qui les entourent?

C'est pour apporter une contribution à la connaissance de la flore de Kimvula que la présente étude a été initiée.

1.2 HYPOTHÈSES

Les hypothèses de notre étude se résument comme suit:

- La valorisation des écosystèmes du territoire de Kimvula ou leur conservation passe par des études botaniques de terrain susceptibles de révéler leur biodiversité.
- L'élaboration des flores de la RD.Congo, en général et du Kongo central, en particulier, ne peut efficacement se réaliser qu'à partir des florules émanant de ses territoires constitutifs.
- L'appartenance d'un territoire à une zone de transition phytogéographique bi régionale se traduit par la présence, à la fois, d'éléments floristiques mixtes résultant de ces régions contigües et d'éléments floristiques exclusifs à la zone de transition, hormis ceux à très large distribution.

1.3 OBJECTIFS

De façon générale, la présente recherche s'inscrit dans l'optique de la valorisation des écosystèmes de la province du Kongo central ainsi qu'à leur exploitation rationnelle.

Les objectifs spécifiques de notre étude sont:

- L'établissement d'une liste d'espèces végétales du territoire de Kimvula ;
- La détermination des caractéristiques écomorphologiques desdites espèces (types morphologiques, types biologiques, types de diaspores, types foliaires) ;
- L'évaluation des indices de diversité et de perturbation de la florule ;
- La détermination des caractéristiques chorologiques de la florule de Kimvula.

1.4 INTÉRÊT

Cette étude se présente comme une référence sur la flore et la végétation de Kimvula pour toute autre recherche ultérieure concernant le Kongo central. Nous espérons que nos résultats pourront contribuer à l'enrichissement des données floristiques, écologiques et phytogéographiques déjà disponibles sur le Kongo central dans l'optique d'une exploitation durable de ses ressources.

Vue la position phytogéographique de Kimvula et sa diversité écosystémique, les données de cette étude peuvent susciter la curiosité touristique ou scientifique de telle sorte que touristes, écologues et autres amis de la nature pourront contempler les paysages kimvulois: depuis les tourbières des sources aux eaux noirâtres de « Nto Mbombo » jusqu'à la pelouse xérophytique du « Mongu Nkulunsi » en passant par la forêt marécageuse ou encore la forêt claire de type « Mabwati ».

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

La présente étude a été réalisée dans le territoire de Kimvula à l'Est de la province du Kongo central (Fig.1). Kimvula est situé entre 15°30' et 16°30' de Longitude Est et entre 5° et 6° de Latitude Sud. Il s'étend sur 3.371Km² et sa densité s'élève à 16 habitants au Km² [29]. Il est limité:

- à l'Est par la province du Kwango ;
- à l'Ouest par le territoire de Madimba ;
- au Nord par la ville-province de Kinshasa ;
- au Sud par l'Angola.

Le territoire de Kimvula est caractérisé par un relief accidenté: il s'agit d'un paysage de plateau qui va de la N'sele jusqu'à la rivière Kwango [30]. Ce paysage presque monotone est brutalement interrompu par les vallées des rivières N'sele, Bombo, Mpuasi, Lumene, Lufimi, Benga, Lubisi et Kwango.

Par ailleurs, c'est dans cette partie que culmine à 960m d'altitude, à proximité de Kingoma, le Mont Mayanga: point le plus élevé de la province situé au Sud-Ouest du Plateau de Bateke.

La région de Kimvula jouit d'un climat de type Aw4 suivant la classification de Köppen. On y observe une saison des pluies qui dure 8 mois, soit de la mi-septembre à la mi-mai et une saison sèche de 4 mois allant de la mi-mai à la mi-septembre.

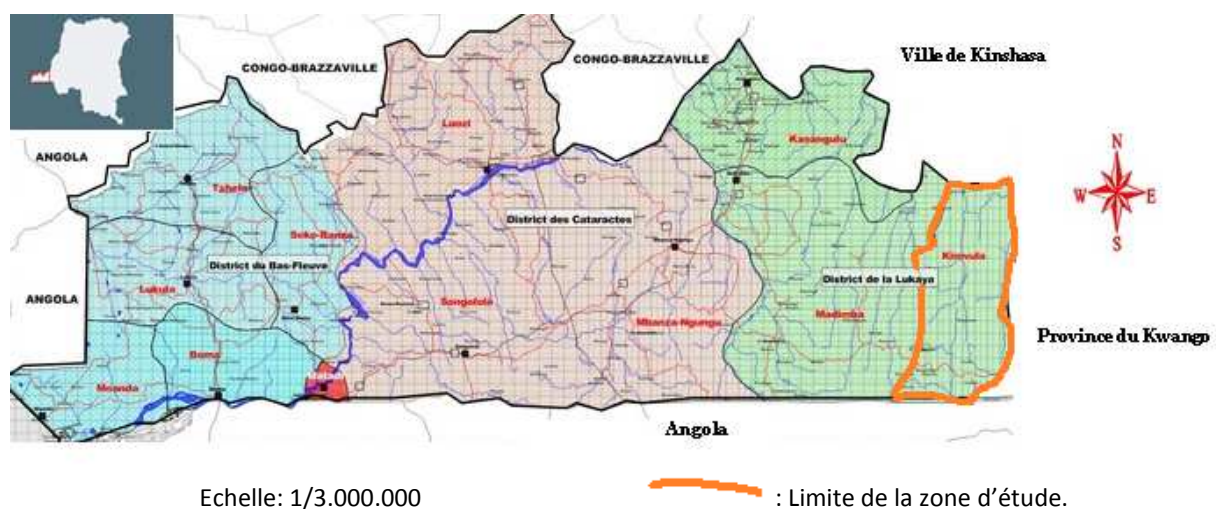


Figure 1: Localisation du territoire de Kimvula

Source: <http://rdcmaps.centerblog.net/16-la-province-du-bas-congo-kongo-central>

2.2 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

Notre matériel d'étude est constitué des espèces végétales recensées à Kimvula dont l'ensemble s'élève à 1.065 espèces.

2.3 MÉTHODES

2.3.1 INVENTAIRE FLORISTIQUE

Les espèces végétales des écosystèmes du territoire de Kimvula ont été inventoriées in situ. Une collection d'herbiers de référence a été déposée au Laboratoire de Botanique systématique & d'Ecologie végétale de l'Université de Kinshasa.

2.3.2 DÉTERMINATION BOTANIQUE

Les espèces recensées ont été déterminées sur le terrain, par nous-même, au moyen d'une clé botanique [12] et des flores d'Afrique tropicale [31], [32], [33], [34], [35]. Une partie de nos échantillons a été déterminé par comparaison avec les excicata des herbiers de Kinshasa (IUK), Bruxelles (BR), Paris (P) et Missouri (MO).

La liste floristique a été établie en tenant compte des synonymies récentes telles que proposées par la base de données du Conservatoire de Jardin Botanique de Genève [36]. La liste des familles s'inspire de la classification phylogénétique APG III [37].

2.3.3 ESTIMATION DE LA DIVERSITE ET DE LA PERTURBATION

L'estimation de la diversité a été réalisée en recourant aux indices de Shannon, Piéluou, Margalef, Simpson et Menhinnick.

a) Indice de diversité de Shannon-Weaver

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \log_2(p_i)$$

$$p_i = n_i / N$$

p_i est compris entre 0 et 1

N = effectif total (= nombre total des troncs ou des souches)

n_i = effectif de l'espèce i dans l'échantillon

S = nombre d'espèces total dans l'échantillon

L'indice de diversité de Shannon et Weaver mesure la quantité moyenne d'informations données par l'indication de l'espèce d'un individu de la collection [38]. Cette moyenne est calculée à partir des proportions d'espèces qu'on a recensées. Pour ce travail, cet indice représente la somme des informations données par la fréquence des diverses espèces le long de la surface d'inventaire.

Cet indice varie à la fois en fonction du nombre d'espèces présentes et en fonction de la portion relative du recouvrement de différentes espèces. Il peut varier entre 1 et 4,5 pour des relevés de faibles tailles.

L'indice de diversité de Shannon et Weaver, peut être maximal (H_{max}) en prenant des valeurs comprises entre 8 et 9 pour des échantillons comprenant notamment 100 et 200 espèces [39]

L'indice de Shannon et Weaver est aussi appelé:

- indice de Shannon-Wiener ou indice de Shannon-Weiner [40];
- entropie de Shannon [41].

L'indice de Shannon est maximal quand tous les individus sont répartis d'une façon égale sur toutes les espèces. Il est cependant minimal si tous les individus du peuplement appartiennent à une seule et même espèce [42]. L'indice de Shannon est souvent accompagné de l'indice d'équitabilité de Piéluou [43], appelé également indice d'équirépartition qui représente le rapport maximal théorique dans le peuplement (H_{max}) [44].

b) Indice d'équitabilité de Piélou [43]

Cet indice est défini par la formule suivante [45]:

$$R = H / \max H$$

R = régularité (= equitability) varie de 0 à 1

H = indice de Shannon-Weaver, (= diversité spécifique observée)

Hmax = Log₂ S = diversité spécifique maximale

S = nombre total d'espèces

La régularité d'un échantillon est le rapport de sa diversité à la diversité maximale pouvant être obtenue avec le même nombre de taxons.

c) Indice de diversité de Margalef (D)

Il se traduit par la formule suivante:

$$D = \frac{(S - 1)}{\ln(N)}$$

D = Indice de diversité D de Margalef

S = Nombre d'espèces

N = nombre d'individus

d) Indice Menhinnick (IM)

Cet indice se calcule par la formule suivante:

$$IM = S / \sqrt{N}$$

S = Nombre d'espèces

N = nombre d'individus

e) Indice de diversité D de Simpson

L'indice de Simpson mesure la probabilité que deux individus sélectionnés au hasard appartiennent à la même espèce :

$$D = \sum f_i^2 \quad \text{où} \quad f_i = \frac{n_i}{N}$$

n_i : nombre d'individus de l'espèce donnée.

N : nombre total d'individus.

Cet indice aura une valeur de 0 pour indiquer le maximum de diversité, et une valeur de 1 pour indiquer le minimum de diversité. Dans le but d'obtenir des valeurs « plus intuitives », on peut préférer l'indice de diversité de Simpson représenté par 1-D, le maximum de diversité étant représenté par la valeur 1, et le minimum de diversité par la valeur 0 [46]. Il faut noter que cet indice de diversité donne plus de poids aux espèces abondantes qu'aux espèces rares. Le fait d'ajouter des espèces rares à un échantillon, ne modifie pratiquement pas la valeur de l'indice de diversité.

f) Indice de perturbation (IP)

Utilisé sur des formations forestières ou matorral [47], il est formulé par la relation suivante:

$$IP = (\text{Nbre de chaméphytes} + \text{Nbre de thérophytes}) \times \frac{100}{N}$$

L'indice de perturbation permet de quantifier la thérophytisation des milieux naturels [48]. En effet, l'abondance des thérophytes dans un écosystème résulte d'une perturbation traduite par l'accroissement de la luminosité au niveau des strates basses.

2.4 ETUDE DES CARACTÉRISTIQUES ÉCOLOGIQUES

2.4.1 TYPES MORPHOLOGIQUES

La reconnaissance des types morphologiques de Kimvula s'inspire de Pauwels [49]. Nous y avons reconnu les catégories suivantes:

- Arbres (A) : plantes ligneuses à port unique et droit dont la taille maximale à l'âge adulte dépasse 7m de haut ;
- Arbustes (arb) : végétaux ligneux dont la hauteur maximale à l'âge adulte ne dépasse pas 7m et dont la tige est non ramifiée dès la base ;
- Sous- arbustes (s/arb) : plantes ligneuses dont la taille maximale est inférieure à 7m mais dont la tige non ramifiée dès la base peut dépasser, à l'âge adulte, plus de 2m de haut ;
- Suffrutex (Suf) : plantes ligneuses à tiges ramifiées dès la base et dont la taille ne dépasse guère 2m de haut ;
- Lianes (Lia): végétaux ligneux à tiges grimpantes.
- Herbes annuelles (Ha): plantes à tige tendre dont le cycle de vie ne dure qu'une saison. A l'issue de la période favorable, ces végétaux disparaissent pour ne subsister que sous forme des graines.
- Herbes vivaces (Hvi): végétaux herbacés à appareil végétatif subsistant durant plusieurs saisons.
- Epiphytes (Eph): végétaux ligneux ou herbacés se développant sur d'autres plantes considérées comme support.

2.4.2 TYPES BIOLOGIQUES

La reconnaissance des types biologiques de notre dition tient compte du comportement des espèces à protéger leurs bourgeons ou leurs jeunes pousses pendant la mauvaise saison [50], [51]. Les types suivants ont été reconnus dans la florule de Kimvula:

- Phanérophytes (Ph): Ce sont des arbres, arbustes et lianes ligneuses dont les pousses ou bourgeons persistants sont situés à plus de 50 cm au-dessus du sol.
- Chaméphytes (Ch): Ce sont des plantes herbacées ou sous-ligneuses rampantes, buissonnantes ou en coussinet dont les bourgeons pérennants sont situés à moins de 50 cm au-dessus du sol.
- Hémicryptophytes (Hc): Ce sont des plantes herbacées vivaces dont les organes de rénovation sont situés au ras du sol.
- Géophytes (Gé): Ce sont des plantes herbacées vivaces dont les bourgeons de rénovation restent enfouis dans le sol.
- Hydrophytes (Hy): plantes herbacées vivaces dont les bourgeons de rénovation restent enfouis dans l'eau.
- Hélophytes (Hé): plantes dont les bourgeons sont enfouis dans la vase.
- Thérophytes (Th): Ce sont des plantes annuelles qui ne subsistent que sous forme de graines à l'issue de la période favorable à leur développement.

2.4.3 TYPES DE DIASPORES

La détermination des types morphologiques de diaspores est inspirée des catégories suivantes [52]:

- Ballochores (Ballo): diaspores expulsées par la plante elle-même suite aux mouvements dus à l'alternance de sécheresse et d'humidité ;
- Barochores (Baro): diaspores non charnues mais lourdes tombant au pied de la plante-mère ;
- Desmochores (Desmo): diaspores accrochantes ou adhésives ;
- Pogonochores (Pogo): diaspores à appendices plumeux ou soyeux ;
- Pléochores (Pléo): diaspores munies d'un dispositif de flottaison ;
- Ptérochores (Ptéro): diaspores munies d'appendices aliformes ;
- Sarcochores (Sarco): diaspores totalement ou partiellement charnues.

2.4.4 TYPES FOLIAIRES

Les types de dimensions foliaires ont été reconnus conformément à la classification de Raunkiaer [53], [54].

En nous référant à cette classification, les grandeurs foliaires suivantes ont été retenues:

- Aphyllé (Aph): absence de feuille ;
- Leptophylles (Lepto): surface du limbe inférieure à 0,2 cm² ;
- Nanophylles (Nano) : surface du limbe comprise entre 0,2 et 2 cm² ;
- Microphylles (Micro): surface du limbe comprise entre 2 et 20 cm² ;
- Mésophylles (Méso): surface du limbe comprise entre 20 et 200 cm² ;
- Macrophylles (Macro): surface du limbe comprise entre 2 et 20 dm².

2.5 ETUDE CHOROLOGIQUE

L'étude de la distribution phytogéographique (DP) est inspirée des subdivisions chorologiques reconnues pour l'Afrique tropicale par les auteurs suivants: [27], [55], [56], [57], [58], [59], [60].

Les statuts chorologiques de la plupart d'espèces, recensées à Kimvula, ont été actualisés en se référant aux cartes de distribution produites par la Base de données des plantes d'Afrique (version 3.4.0) du Conservatoire et Jardin botaniques de la ville de Genève [36].

Les types chorologiques retenus à l'issue de cette étude sont:

a. Espèces à très large distribution

- Cosmopolites (Cosm): plantes rencontrées à la fois dans les zones tropicales que tempérées du monde.
- Pantropicales (Pan): plantes rencontrées dans toutes les régions tropicales du globe.
- Paléotropicales (Pal): plantes distribuées dans les zones tropicales et subtropicales de l'ancien monde (Afrique, Asie, Madagascar et Australie).
- Afronéotropicales (ANT): plantes présentes en Afrique et en Amérique tropicales
- Plurirégionales africaines (PRA): espèces dont la distribution s'étend sur plusieurs régions florales africaines.
- Afrotropicales (AT): plantes rencontrées dans toute l'Afrique tropicale
- Afromalgaches (AM): plantes présentes en Afrique continentale et dans les îles de la région de Madagascar.

b. Espèces de liaison

- Guinéo-congolo- zambéziennes (GCZ): espèces de la zone de transition régionale guinéo-congolaise/zambézienne
- Bas guinéo-congolo-zambéziennes (BGCZ): plantes rencontrées dans le domaine guinéen inférieur et dans le nord de la zone zambézienne.
- Congolo-zambéziennes (CZ): plantes congolaises dont la distribution méridionale atteint le centre régional d'endémisme zambézien.

c. Espèces de l'élément-base guinéen

- Guinéo-congolaises (GC): plantes rencontrées dans toute la zone de forêt équatoriale africaine (région allant de la Guinée au Congo démocratique).
- Bas guinéo-congolaises (BGC): plantes dont l'aire de distribution est limité au domaine Bas-guinéen.
- Congolaises (C): plantes endémiques de République démocratique du Congo.

d. Espèces de l'élément zambézien

- Zambéziennes (Z): plantes dont la distribution est limitée à la région zambézienne.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 ANALYSE FLORISTIQUE

Les résultats de l'inventaire floristique de Kimvula sont synthétisés par la figure 2.

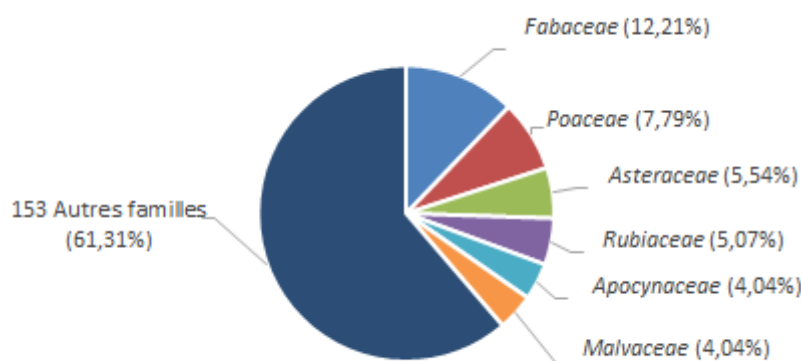


Figure 2: Les familles les mieux représentées de la florule de Kimvula.

Il ressort de l'examen de la figure 2 que la florule de Kimvula est très diversifiée. Elle compte 1.065 espèces réparties en 666 genres et 159 familles. Les familles les mieux représentées sont: *Fabaceae* (12, 21%), *Poaceae* (7,79%), *Asteraceae* (5,54%), *Rubiaceae* (5,07%), *Apocynaceae* (4,04%) et *Malvaceae* (4,04%).

Cette composition floristique est supérieure à celles présentées par certains auteurs [20], [61]. Par ailleurs, bien que les proportions taxonomiques soient différentes, la tendance des principales familles rejoint les observations de quelques auteurs notamment [62], [63], [64], [57], qui les classent également parmi les mieux représentées du pays.

3.2 ANALYSE DES INDICES DE PERTURBATION ET DE DIVERSITÉ

3.2.1 INDICE DE PERTURBATION

L'indice de perturbation de la florule du territoire de Kimvula est repris au tableau 1.

Tableau 1: Comparaison de l'indice de perturbation entre différents auteurs.

Auteurs	Ph	Ch	HC	G	Th	Hy	Hé	Eph	Tot	IP (%)
Mullenders (1954) Kaniama[64]	364	98	71	186	118	4	0	0	841	25,68
Germain (1957) Yangambi[63]	1488	258	28	189	185	36	0	0	2184	20,28
Lubini (1982) Kisangani[65]	777	123	35	121	155	0	0	0	1211	22,96
Nyakabwa (1982) Kisangani[66]	682	204	43	177	231	17	0	0	1354	32,13
Masens (1997) Kikwit[61]	547	123	43	109	130	12	0	0	964	26,24
Belesi (2009) Bas-Kasaï[67]	1058	175	48	139	191	5	0	0	1616	22,65
Habari (2009) Bassins N'djili-N'sele[20]	445	95	19	96	96	3	0	0	754	25,33
Kikufi présent travail	537	112	39	112	200	11	44	10	1065	29,30

Légende: Ph: phanérophytes; HC: hémicryptophytes; G: géophytes; Th: thérophytes; Hy: hydrophytes; Hé: héliophytes; Eph: épiphytes. IP: indice de perturbation.

L'observation du tableau 1 signale que le territoire de Kimvula présente un indice de perturbation de 29,30%. Ce qui signifie que ses écosystèmes respectifs sont moins perturbés. Néanmoins, la comparaison de cet indice avec celui obtenu,

dans le bassin moyens des rivières N'sele et N'djili [20], montre que Kimvula semble présenter une perturbation légèrement supérieure. La même tendance s'affiche également au regard de certains travaux [63], [64], [65], [61], [67]. Quant aux résultats obtenus à Kisangani par [66], ils concluent à un indice de perturbation très significatif par rapport à Kimvula. Actuellement, avec la croissance démographique et l'urbanisation pressante de certaines agglomérations congolaises, il faut craindre que cet indice n'ait fait un bond important dans les différents sites énumérés dans ce tableau car la perturbation dans ces écosystèmes est principalement due aux facteurs anthropiques.

3.2.2 INDICES DE DIVERSITÉ

Le tableau 2 résume l'ensemble des indices de diversité calculés conformément aux résultats des écosystèmes forestiers du territoire étudié.

Tableau 2: Indices de diversité de différents écosystèmes forestiers de Kimvula

Indice de diversité Ecosystème	Shannon	Pielou	Margalef	Simpson	Menhinick
Forêt dense humide	4,385	0,876	15,07	0,982	1,097
Forêt secondaire	4,854	0,875	25,05	0,988	1,575
Forêt dense sèche	3,405	0,854	6,477	0,951	0,903
Forêt claire	3,205	0,777	7,277	0,920	0,938
Forêt marécageuse	3,524	0,806	8,326	0,950	0,730
Forêt périodiquement inondée	3,56	0,791	9,798	0,954	0,959
Forêt ripicole	3,974	0,883	10,68	0,975	1,397
Galerie forestière	4,354	0,895	14,25	0,982	1,409
Jachère	4,472	0,852	19,52	0,980	1,5

L'examen de ce tableau montre que l'indice de Shannon présente une valeur plus élevée (4,854) dans la forêt secondaire. Ce qui montre que cet écosystème est plus diversifié en espèces que les autres écosystèmes forestiers. La valeur la plus faible a été enregistrée dans la forêt claire compte tenu de sa faible richesse spécifique. Quant à l'indice de régularité de Piélou, il montre une bonne équitabilité entre les écosystèmes étudiés, car les valeurs obtenues sont toutes élevées et voisines de 1. La valeur de l'indice de Margalef renseigne si la richesse spécifique d'un écosystème est élevée ou non. Il ressort qu'elle est élevée (25,05) en forêt secondaire, alors qu'en forêt dense sèche (6,477), elle est la plus faible. Ce qui démontre la dominance de la forêt secondaire sur les autres en termes de richesse spécifique. Cependant, pour l'indice de Simpson, les valeurs obtenues ne concluent nullement à une variabilité notable de la diversité des différents écosystèmes du fait que les valeurs obtenues présentent des petites différences entre elles. Par contre, l'indice de Menhinick, étant basé sur la richesse en espèces, il présente des valeurs nettement élevée respectivement dans la forêt secondaire (1,575) et dans la jachère (1,5). La comparaison entre les indices de Menhinick et de Margalef, révèle que les deux indices évoluent de la même manière.

3.3 ANALYSE ÉCOLOGIQUE

3.3.1 TYPES MORPHOLOGIQUES

Les résultats de l'analyse des types morphologiques recensés à Kimvula sont repris par la figure 3.

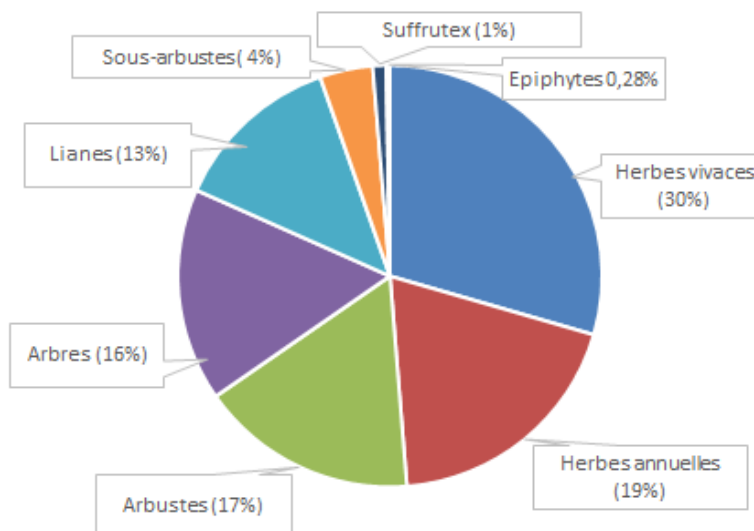


Figure 3: Types morphologiques de la florule de Kimvula.

L'observation de cette figure montre l'importance relative des plantes ligneuses (50%): arbres (16%), arbustes (17%), sous-arbustes (4%), lianes (13%) et suffrutex (1%). Celles-ci semblent assez bien représentées par rapport aux herbes vivaces (30%) et annuelles (19%). Ceci montre que la physionomie observée dans les formations végétales du territoire étudié découle des espèces ligneuses.

3.3.2 TYPES BIOLOGIQUES

Les résultats de l'analyse des types biologiques de la florule du territoire de Kimvula sont illustrés par la figure 4.

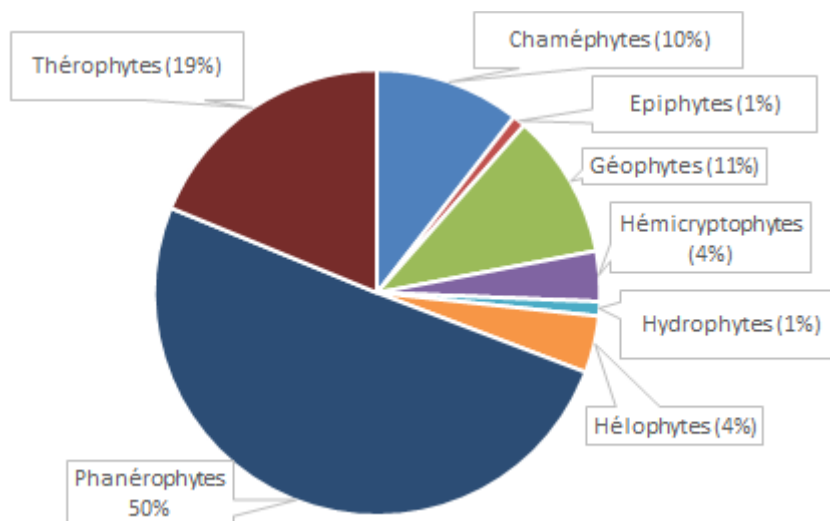


Figure 4: Types biologiques recensés dans la florule de Kimvula.

Il ressort de l'analyse de la figure 4 que la florule de Kimvula est dominée par les phanérophytes (50%). On y note une faible représentation des hydrophytes (1%) et des épiphytes (1%).

La dominance des phanérophytes traduit indirectement le caractère physionomique imprégné aux formations végétales dominantes: celles-ci étant soit arbustives, soit arborées.

3.3.3 TYPES FOLIAIRES

La figure 5 illustre les catégories foliaires des espèces recensées à Kimvula.

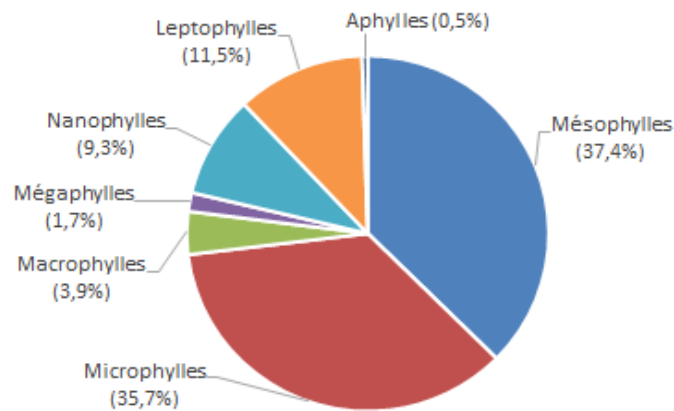


Figure 5: Dimensions foliaires des espèces de Kimvula.

L'examen des résultats illustrés par la figure 5 montre que les écosystèmes de Kimvula sont dominés par les mésophylles (37,4%) alors que les mégaphylles (1,7%) et les aphyllés (0,5%) y sont faiblement représentés.

L'abondance des mésophylles considérées comme types foliaires intermédiaires se justifie par les conditions de milieu dont jouissent les phytocénoses de Kimvula notamment en ce qui concerne l'humidité atmosphérique et l'éclairement qui y règnent. Puisque l'humidité atmosphérique diminue de bas vers le haut, les plantes ont, en effet, tendance à diminuer leur surface foliaire pour réduire ainsi la transpiration. C'est ainsi que la macrophyllie est fréquemment observée chez les espèces des sous-bois. Par ailleurs, les espèces présentant des surfaces limbaires intermédiaires (mésophyllie) sont abondantes dans les strates arborescentes et moyennes où l'intensité de l'éclairement ne permet pas une perte importante en eau.

3.3.4 TYPES DE DIASPORES

Les résultats des types de diaspoires inventoriés à Kimvula sont présentés par la figure 6 et le tableau 3.

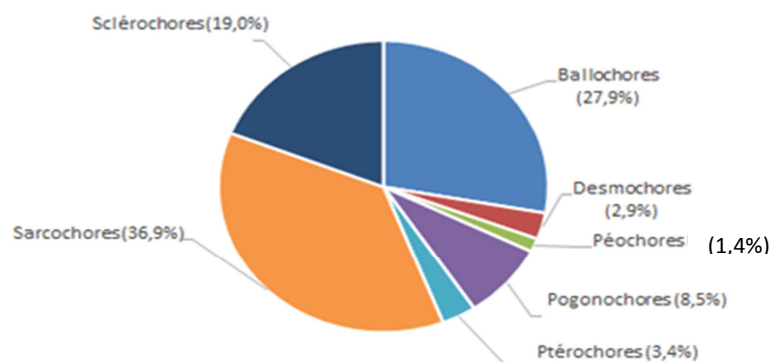


Figure 6: Types de diaspoires de la florule de Kimvula.

L'observation de la figure 6 révèle que la florule de Kimvula est dominée par les sarcocoches (36,9%) tandis que les péochoches (1,4%) y sont faiblement représentés.

Les sarcocoches étant des diaspoires charnues, elles sont recherchées, en premier, par les animaux qui les consomment mais en même temps, en assurent la dissémination (zoochorie) à travers divers modes de transport. Leur abondance est un

signe permettant d'affirmer que le fond de la florule du territoire étudié est constitué d'espèces sarcochores. Par ailleurs, l'abondance des sarcochores observée dans nos résultats semble rejoindre le même ordre de grandeur que celui obtenu par comparaison au tableau 3 entre différents auteurs [68], [54], [61].

Tableau 3: Comparaison des résultats (en %) des types de diaspores

Types de diaspores	Lubini (1991) Forestier central[68]	Lubini (1997) Luki[54]	Masens (1997) Kikwit[61]	Kikufi (2016) présent travail
Ptérochores	4,6	7,22	3,9	3,4
Pogonochores	4,7	3,6	3,8	8,5
Sclérochores	17	21,35	25,4	19
Sarcochores	49	40,42	49	36,9
Desmochores	2,1	2,51	3	2,9
Ballochores	20,4	23	11,3	27,9
Barochores	1,4	1,2	1,4	-
Pléochores	0,8	0,70	2,2	1,4

3.4 ANALYSE PHYTOGÉOGRAPHIQUE

Les résultats de l'analyse chorologique de la florule de Kimvula sont repris par la figure 7.

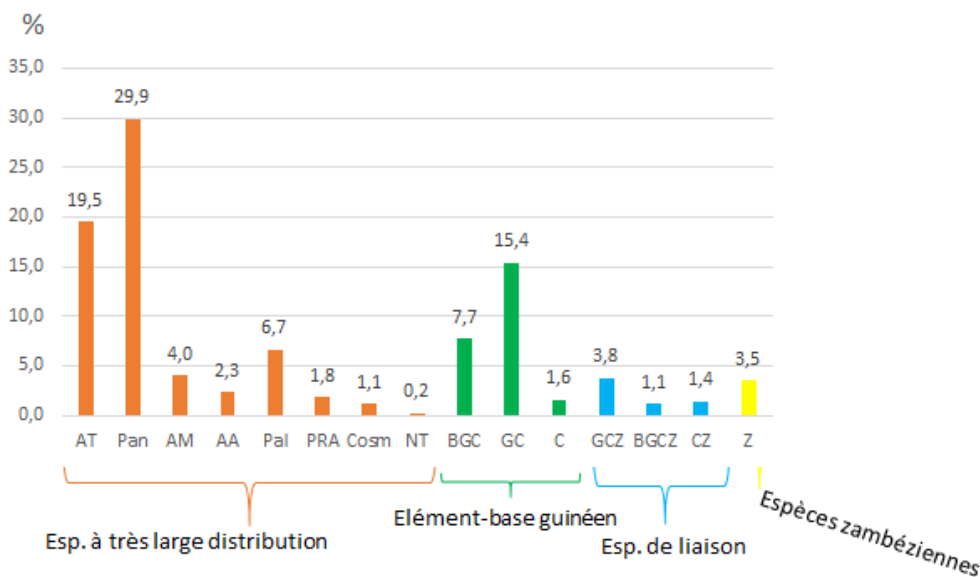


Figure 7: Types de diaspores de la florule de Kimvula.

L'observation de cette figure signale l'abondance des espèces à très large distribution (65,5%) par rapport aux espèces de l'élément-base guinéen (24,7%) et zambéziennes (3,5%). Au sein des espèces de l'élément-base guinéen, on note la présence d'espèces endémiques (1,6%) dont la distribution est limitée en RD.Congo. Parmi ces endémiques figurent : *Cola bruneellii* De Wild., *Olox wildemanii* Engl., *Psychotria kimuenzae* De Wild., *Sericanthe roseoides* (De Wild. & T. Durand) Robbr. et *Aloe congolensis* De Wild. & T. Durand. L'abondance des espèces à très large distribution traduit une modification notable des conditions environnementales qui profite aux espèces à très forte amplitude écologique.

4 CONCLUSION

L'étude de la flore actuelle du territoire de Kimvula a mis en évidence la présence d'une florule riche et diversifiée qui compte 1.065 espèces réparties en 666 genres et 159 familles.

Les spectres écologiques ont révélé l'abondance des phanérophtes (50%) à dimension foliaire mésophylle (37,4%) et à diaspores de types sarcochores (36,9%) confirmant la physionomie forestière des écosystèmes dominants dudit territoire.

L'évaluation de la diversité spécifique au moyen des indices (Shannon, Pielou, Simpson, Margalef et Mennhinick) montre que parmi les écosystèmes forestiers analysés, la forêt secondaire a présenté la plus grande diversité. Cependant, en dépit de l'enclavement de Kimvula, les facteurs anthropiques se manifestent, de plus en plus, par une pression croissante sur les écosystèmes de la zone dont l'indice de perturbation phytocénotique calculé s'évalue à 29,30.

L'observation de la distribution phytogéographique montre une dominance des espèces à très large distribution (65,5%) et une proportion faible d'espèces endémiques (1,6%). Des études complémentaires concernant les groupements végétaux de ce territoire méritent d'être entreprises car certains d'entre eux abritent encore des espèces à fort usage socioéconomique dont l'exploitation non durable pourrait compromettre leur disponibilité à long terme.

REMERCIEMENTS

Au cours de cette étude nous avons bénéficié de l'aide de certains botanistes à qui nous adressons nos remerciements les plus sincères. Il s'agit notamment de Maria Korontsova (Kew), Luc Pauwels (Meise) et de Christian Amani de l'Université officielle de Bukavu.

REFERENCES

- [1] Schmitz, A. *Aperçu sur les groupements végétaux du Katanga*. Bull. soc. Roy. Bot. Belg. 96(2) : 233-247, 1963
- [2] Schmitz, A. *La végétation de la plaine de Lubumbashi (Haut Katanga)*. Publ. I.N.E.A.C sér. scient. 113. Bruxelles, 388p. 1971
- [3] Malaisse, F. *Se nourrir en forêt claire africaine. Approche nutritionnelle et écologique*. Les presses agronomiques de Gembloux. Centre Technique Agricole et Rurale. 384p, 1997
- [4] Durand, T. & Schinz, H. *Etudes sur la Flore de l'Etat Indépendant du Congo*. Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-arts de Belgique. Bruxelles, 368p, 1896
- [5] De Wildeman, E. Documents pour l'étude de la Géo-Botanique congolaise in *Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique*. Tome LI, 2^{ème} Série. Volume jubilaire. Bruxelles, 406p.+ CXVI planches. 1912
- [6] De Wildeman, E. *Mission forestière et agricole du Comte Jacques De Brierly au Mayumbe (Congo Belge)*. Ministère des colonies de Belgique. Etablissements D. Reynaert, Bruxelles 468p, 1920
- [7] Renier, M. *Flore du Kwango. Tome I: Cryptogames vasculaires- Gymnospermes-Monocotylées- Dicotylées apétales* 185p. Tome II : *Dicotylées polypétales superovariées* 342 p. Tome III : *Polypétales inferovariées*, 254p, Bruxelles, 1948
- [8] Duvigneaud, P. Voyage botanique au Congo belge à travers le Bas-Congo, le Kwango, le Kasai et le Katanga. *Bull. Soc. Roy. Bot. Belg.* 81: pp. 15-33. Bruxelles, 1949
- [9] Compère, P. *Carte des sols et de la végétation du Congo, du Rwanda et du Burundi, 25-B. Bas-Congo. Notice explicative de la carte de la végétation*. I.N.E.A.C. Bruxelles, 35p. 2 fig., 1 carte hors texte, 1970
- [10] Pauwels, L. *Nzayilu N'ti. Guide des arbres et arbustes de la région de Kinshasa- Brazzaville*. Jard. Bot. Nat. Belg., Bruxelles, 495p, 1993
- [11] Pauwels, L. Liste des spécimens d'herbiers des environs de Kinshasa. Ed. Pauwels. Bruxelles, 255p, 2006
- [12] KIKUFI, A.B. *Clé générale actualisée pour l'identification des plantes ligneuses de l'ouest de la république démocratique du Congo*. Ed. Herbarium, Kinshasa, 125p, 2012
- [13] Pauwels, L. Plantes des environs de Kinshasa. Spermatophytes-Ptéridophytes. <http://home.scarlet.be/~tsh77586/> (10 août 2016)
- [14] Duvigneaud, P. & Symoens, J. *Contribution à l'étude des associations tourbeuses du Bas-Congo: le Rynchosporium candidae à l'étang de Kibambi*. Travaux de l'Association Internationale de limnologie théorique et appliqué, 1951
- [15] Duvigneaud, P. *Les Usnées barbues et le Crossopterygo-Usnetum des savanes du Bas-Congo*. Bull. Soc. Roy. Bot. Belg. 85: pp. 99-114, Bruxelles, 1952.
- [16] Duvigneaud, P. *Les savanes du Bas-Congo. Essai de phytosociologie topographique*. Leujenia. Mém.10, 192p, Liège, 1953.
- [17] Devred, R. *Les savanes herbeuses de la région de M'vuazi (Bas-Congo)*. I.N.E.A.C. sér. sc. 65:115p. 32fig. 7tabl. Bruxelles, 1956.
- [18] Compère, P. *Carte des sols et de la végétation du Congo, du Rwanda et du Burundi, 25-B. Bas-Congo. Notice explicative de la carte de la végétation*. I.N.E.A.C. 35p. 2 fig., 1 carte hors texte. Bruxelles, 1970.
- [19] Lubini, A. *La végétation de la réserve de biosphère de LUKI*. Opera Botanica 10 Meise, 155p, 1997.
- [20] Habari, M.J.P. *Etude floristique, phytogéographique et phytosociologique de la végétation de Kinshasa et des bassins moyens des rivières Ndjili et N'sele en RD. Congo*. Thèse de doct. UNIKIN, Fac. Sc. Dpt Biol. 263p, 2009.

- [21] Kikufi, A., Lejoly, J. & Lukoki, F. Note préliminaire sur l'écologie d'une *Asparagaceae* endémique du bassin du Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 14 No. 3 pp. 843-849, 2016
- [22] Kimbundu, K. *Quelques plantes médicinales du Bas-Congo et leurs usages*. Publication du Jardin Botanique de Kisantu, 189p, 2003
- [23] Latham, P. & Konda, K. *Plantes utiles du Bas-Congo, République Démocratique du Congo*. Mystole Publications 2^{ème} éd. Canterbury, 344p, 2007
- [24] Lukoki, L. F. *Médecine traditionnelle Kongo. Nkisi mi Bakulu*. Centre Informatique de la Faculté d'Economie et développement. Université Catholique du Congo. Kinshasa, 172p, 2011
- [25] Fouarge, J. & Gérard, G. *Bois du Mayumbe*. Publ. de l'INEAC. Bruxelles, 579p, 1964
- [26] Dibaluka, P.S. *Etude des macromycètes de la cité de Kimvula et de ses environs (Bas- Congo/RDC): diversité et productivité en forêt claire, ethnomycologie et mise en culture d'espèces saprotrophes comestibles*. Thèse de doct. UNIKIN, Dpt Biol. 515p, 2011
- [27] White, F. *La végétation de l'Afrique*. Mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique UNESCO/AETFAT/UNSO. ORSTOM – UNESCO. Paris, 384p, 1986
- [28] Ministère des affaires foncières, environnement & tourisme (MAFET). *Code forestier*. 52p, 2002
- [29] Ministère du Plan. *Monographie de la province du Bas-Congo*. Kinshasa. 204p, 2005
- [30] Mpasi, Z.M. *Les climats, les bilans hydriques du Bas-Zaïre et quelques implications dans les domaines de l'agriculture et de l'environnement*. Thèse de doct. Université Libre de Bruxelles. 484p, 1993
- [31] Lebrun, J.P. & Stork, A. L. *Énumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale. Vol. I Généralités: Annonaceae à Euphorbiaceae et Pandanaceae*. Genève (Suisse): Conservatoire et Jardin botaniques de la ville de Genève, 249p, 1991
- [32] Lebrun, J.P. & Stork, A. L. *Énumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale. Vol. II Crysobalanaceae à Apiaceae*. Genève (Suisse): Conservatoire et Jardin botaniques de la ville de Genève, 257p, 1992
- [33] Lebrun, J.P. & Stork, A. L. *Énumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale. Vol. III Limnocharitaceae à Poaceae*. Genève (Suisse): Conservatoire et Jardin botaniques de la ville de Genève, 341p, 1995
- [34] Lebrun, J.P. & Stork, A. L. *Tropical African Flowering Plants. Ecology and Distribution. Vol. 2 – Euphorbiaceae – Dichapetalaceae*. Conservatoire et Jardin botaniques de la ville de Genève, 797p, 2003
- [35] Lebrun, J.P. & Stork, A. L. *Tropical African Flowering Plants. Ecology and Distribution. Vol. 1 – Annonaceae – Balanitaceae*. Conservatoire et Jardin botaniques de la ville de Genève, 306p, 2006
- [36] CJBG Base de données des plantes d'Afrique (version 3.4.0). Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève and South African National Biodiversity Institute, Pretoria,
<<http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/details.php?langue=fr&id=14261>> (01 juillet 2015)
- [37] Kikufi, A.B. *La classification phylogénétique aujourd'hui*. Ed. Herbarium, 33p, Kinshasa, 2012
- [38] Nshimba, H. *Etude floristique, écologique et phytosociologique des forêts de l'île Mbiye à Kisangani, RDCongo*. Thèse de doct. Université Libre de Bruxelles. 271p, 2010
- [39] Ngok, I. Diversité végétale des inselbergs et des dalles rocheuses du Nord Gabon. Thèse de doct. Université Libre de Bruxelles, 420 p, 2005
- [40] Lejoly, J. Utilisation de la méthode de transects en vue de l'étude de la biodiversité dans la zone de conservation de la forêt de NGOTO (Rép. Centrafricaine). Projet Ecofac, Agrecco-C.T.F.T, Bruxelles, 114 p, 1995
- [41] Légendre, L. & Légendre, P. *Ecologie numérique. Le traitement multiple des données écologiques*. Masson, Paris, 260p, 1984
- [42] Kimpouni, V., Mbou, P., Apani, E. & Motom, M. Floristic diversity and structural parameters of the Brazzaville Patte d'Oie forest, Congo. *Open Journal of Ecology* Vol.3, No.8, 518-531 (2013) <http://dx.doi.org/10.4236/oje.2013.38061>
- [43] Piélou, E.C. Species diversity and pattern diversity in the study of ecological succession. *J. Theor. Biol.*, 10: 370-383, 1966
- [44] Blondel, J. Insularité et démographie des Mésanges du Genre *Parus* (Aves) C.R.Acad. Sci. Paris, Sér. D,t. 289 : 161-164, 1979
- [45] Frontier, S. & Pichod-Viale, D. *Ecosystème : structure, fonctionnement, évolution*. Collection d'écologie 21, Masson paris, 2^e éd., 447 p, 1993
- [46] Büttler, R. *Analyse de la distribution spatiale d'objets dans un paysage*. Fiche d'enseignement, Labo. De gestion des écosystèmes (GECOS), Lausanne, 18 p, 2000
- [47] Benkhetou, A., Azouzi, B. & Djili, K. Diversité floristique du massif du nador en zone steppique (tiaret, Algérie). *European Scientific Journal* édition vol.11, No.21 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, July 2015
- [48] Loisel, R. & Gomila, R. Traduction des effets du débroussaillage sur les écosystèmes forestiers et préforestiers par un indice de perturbation. *Ann.Soc. Sci. Nat. Archéol. de Toulon et du Var* 45 (2): 123-132, 1993
- [49] Pauwels, L. *Plantes vasculaires des environs de Kinshasa*. Ed. Pauwels. Bruxelles, 121p, 1982
- [50] Raunkiaer, C. *The life forms of plants and statistical plant geography*. Clarendon press. Oxford. 632p, 1934
- [51] Lacoste, A. & Salanon, R. *Éléments de Biogéographie et d'Ecologie*. Nathan, 2^{ème} éd. Paris, 300p, 1999

- [52] Dansereau, P. & Lems, K. The grading of dispersal types in plant communities. Contributions de l'Institut de Botanique de Montreal, 71: 1-52, 1957
- [53] Habiyaremye, M.F. *Etude phytocoenologique de la dorsale orientale du Lac Kivu (Rwanda)*. Annales Sciences économiques, Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren, 276p, 1997
- [54] Lubini, A. *La végétation de la réserve de biosphère de LUKI*. Opera Botanica 10, Meise, 155p, 1997
- [55] Lebrun, J. *La végétation de la plaine alluviale au Sud du lac Edouard. Exploration du Parc National Albert, Mission J. Lebrun (1937-1938)*. Inst. Parcs Nat. Congo Belge, tomes I & II Bruxelles, 800p, 1947
- [56] Lebrun, J. *Etude sur la flore et la végétation des champs de lave au nord du lac Kivu*. Expl. Parc Nat. Albert, Mission J. Lebrun fasc. 2 Inst. Parcs Nat. C.B., 352p, 1960
- [57] Evrard, C. *Recherches écologiques sur le peuplement forestier des sols hydromorphes de la cuvette centrale congolaise*. O.N.R.D.- I.N.E.A.C. Bruxelles, sér.sc. 110: 295p., 6 fig., 57 tabl., 33 phot. hors texte, 1968
- [58] White, F. The Guineo-Congolian Region and its relationship to other phytochoria. *Bull. Bot. Nat. Belg.* 49: pp 11-55., 1979
- [59] Ndjele, M. *Les éléments phytogéographiques de la flore vasculaire du Zaïre*. Thèse de doct. Fac. Sc. Université Libre de Bruxelles, 528p, 1988
- [60] Lejoly, J., Ndjele, L. & Geerinck, D. *Catalogue-Flore des plantes vasculaires des districts de Kisangani et de la Tshopo (RD Congo)*. 4^{ème} éd. Bruxelles 328p, 2012
- [61] Masens, B.D. *Etude phytosociologique de la région de Kikwit (Bandundu, Zaïre)*. Thèse de doct. Université Libre de Bruxelles. 400p. + 44p annexes, 1997
- [62] Germain, R. *Les associations végétales de la plaine de la Ruzizi (Congo belge) en relation avec le milieu*. I.N.E.A.C. Bruxelles, sér .sc 52 : 321p., 28 fig., 58 tabl. 83 phot. Hors –texte, 1952
- [63] Germain, R. Un essai d'inventaire de la flore et des formes biologiques en forêts équatoriales Congolaise. *Bull. Jard. Bot. Etat, Bruxelles*, 27 : 563-576, 1957
- [64] Mullenders, W. *La végétation de Kaniama (entre Lubishi – Lubilashi, Congo belge)*. INEAC, Bruxelles. Sér.sc. 61 : 499p., 39fig., 18 tabl., 18 pl. hors texte, 1954
- [65] Lubini, A. *Végétation messicole et postculturale de Kisangani et de la Tshopo (Haut Zaïre)*. Thèse de doct. Université de Kisangani, Fac. Sc. 489p, 1982
- [66] Nyakabwa, M. *Phytocénose de l'écosystème urbain de Kisangani*. Thèse de doct. Université de Kisangani, Fac. Sc. Vol. 1,2 & 3. 998p, 1982
- [67] Belesi, K. H. *Etude floristique, phytogéographique et phytosociologique de la végétation du Bas-Kasaï en République démocratique du Congo*. Thèse de doct. Université de Kinshasa, Fac. Sc. 565p, 2009
- [68] Lubini, A. *Les formations végétales secondaires dans la cuvette centrale congolaise (Zaïre)*. Compte rendu de la 13^{ème} Réunion plénière de l'AEFAT, Zomba, 2:1413-1426, 1991.

Couplage entre un modèle Pluie-débit GR2M et un générateur de pluie pour évaluer le transfert entre deux barrages de Semi-aride Tunisien Sidi Saad et El Houareb

[Coupling between a rain-runoff model, GR2M, and a rain generator to evaluate the transfer between two dams the Tunisian Semi-arid Sidi Saad and El Houareb]

Safouane Mouelhi¹, Saida Nemri¹, Sihem Jebari¹, and Mohamed Slimani²

¹Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêt (INRGREF), Ariana, Tunisie

²Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau, Institut National Agronomique, Tunis, Tunisie

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

ABSTRACT: This work opts to clarify the hydrological efficiency of the water transfer between the two dams Sidi Saad and El Haouareb. The Hydrological model GR2M was chosen to be calibrated and validated in the watershed corresponding to the two study sites. Coupled with the rain generation model, this model allowed the estimation of future inputs of two dams Sidi Saad and El Haouareb. Different scenarios were subsequently developed to estimate the monthly outputs of two dams and the volumes of security. A study of the filling of the dam is performed at the end by the balance equation and using the generated inflows and the estimated scenarios, which was used to study the possibility of water transfer.

KEYWORDS: Semi-arid; central Tunisia; hydrological modeling; GR2M model; Rain generation; inflows generation; Dam management.

RESUME: Ce travail opte à apporter des éclaircissements sur l'efficacité hydrologique du transfert entre deux barrages de semi-aride Tunisien Sidi Saad et El Haouareb sous angle de gestion intégrée de ressource en eau. Par ailleurs, le modèle GR2M a été choisi pour être calé et validé sur les bassins versants correspondant des deux sites d'études, ce qui a permis d'arrêter un outil d'estimation d'apports. Couplé avec les pluies générées, ce modèle a permis l'estimation des apports futurs de deux barrages de Sidi Saad et El Haouareb. Différents scénarios ont été développés par la suite pour estimer les sorties mensuelles de deux barrages ainsi que les volumes de sécurité nécessaires. Une simulation de remplissage de barrage est réalisée à la fin par l'équation de bilan et en utilisant les apports générés et les scénarios de sorties estimées pour étudier la possibilité de transfert.

MOTS-CLEFS: Semi-aride ; Tunisie centrale ; Modélisation hydrologique ; modèle GR2M ; Génération de pluie ; Génération des apports ; Gestion des barrages.

1 INTRODUCTION

La Tunisie centrale est une région semi-aride caractérisée par de fortes variabilité des pluies à l'origine des inondations dévastatrices provenant essentiellement des oueds Zeroud et Merguellil comme celles de 1969. Pour protéger la région de Kairouan contre les inondations, deux barrages ont été construits : Sidi Saad (Zeroud) et El Haouareb (Merguellil). Ces deux barrages sont aussi exploités pour l'irrigation et la recharge de la nappe de Kairouan. Dans le but d'un renforcement de connections du système hydraulique, il est question de procéder par un transfert via une liaison entre ces deux barrages.

Toutefois, sous un angle de gestion intégrée des ressources en eau, cette interconnexion ne serait optimale que si les besoins locaux correspondant à chacun de deux barrages, majorés par les pertes en infiltration et évaporation, sont satisfaits. Dans le but de reconstituer une série des apports futurs aux barrages au pas de temps mensuel, un couplage entre un générateur de pluie et un modèle pluie débit GR2M est nécessaire. L'étude de la spécificité de la pluie de la zone montre qu'elle est très aléatoire et aucun cycle ne distinguable dans l'historique d'où aucun générateur classique ne peut être applicable d'où la nécessité de développer un générateur en se basant sur la chaîne de Markov et la génération des rangs en premier lieu et la quantité de pluie en second lieu cette méthodologie a été déjà décrite dans un article publié. Les apports générés par le couplage sont utilisés dans la simulation de remplissage de deux barrages.

2 METHODOLOGIE

Ce travail s'inscrit dans une optique de simulation prévisionnelle de remplissage des barrages afin de quantifier le volume d'eau mobilisable pour un éventuel transfert entre les barrages. Des scénarios ont été développés pour estimer l'évolution des sorties mensuelles et le volume de sécurité à laisser dans le barrage avant tout transfert envisageable tout en utilisant les apports générés par le couplage générateur de pluie- Modèle Pluie débit. La figure 1 résume la méthodologie du travail.

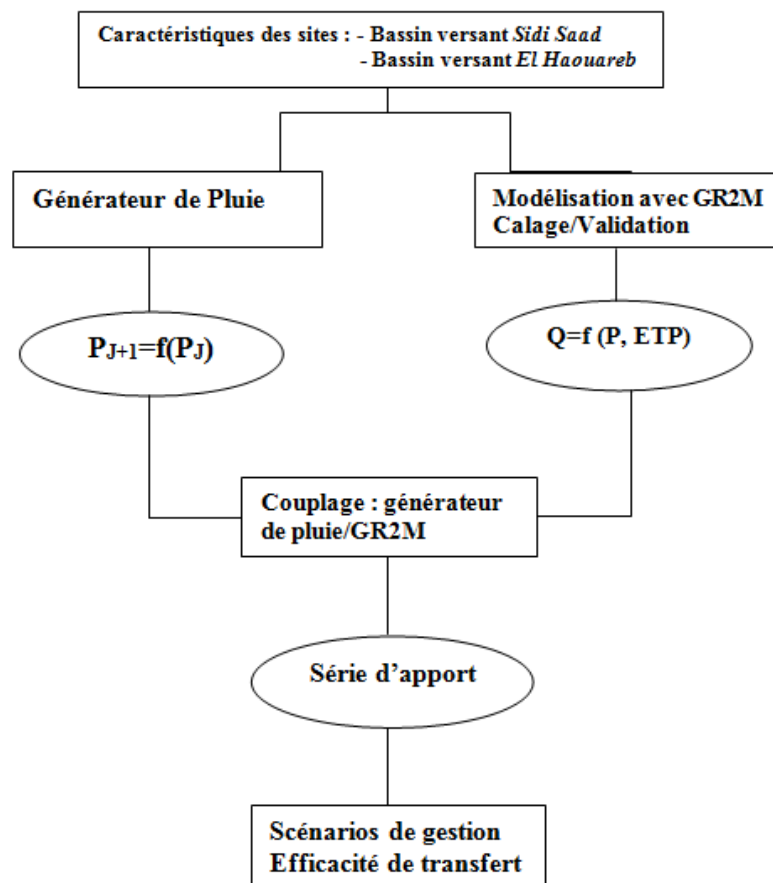


Figure 1: Méthodologie de travail

2.1 ZONE D'ÉTUDE ET DONNÉES

La région de la Tunisie centrale est traversée par deux principaux oueds Zeroud et Merguellil. Ces oueds drainent les flancs de la dorsale tunisienne à l'ouest jusqu'à l'amont immédiat de la ville de Kairouan. Ces deux oueds qui coulent 30 jours par an sont connus par la violence de leurs crues débouchant dans la plaine de Kairouan. En 1981 l'oued Zeroud est barré par un grand barrage Sidi Saad et de même en 1989 l'oued Merguellil par le barrage El Haouareb pour maîtriser les écoulements à l'entrée de la plaine (Figure 2). Le bassin versant *Merguellil* couvre une superficie de 1330 Km² [1]. Le bassin versant de

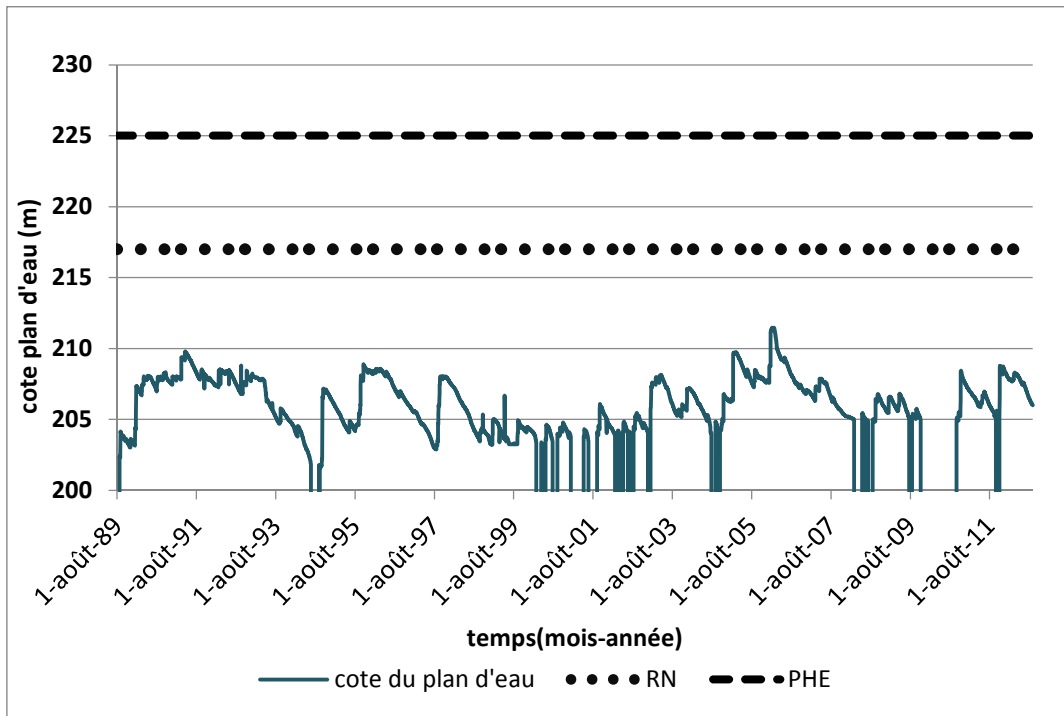


Figure 3: Evolution du niveau d'eau dans la retenue du barrage d'El Haouareb (années 1989-2012)

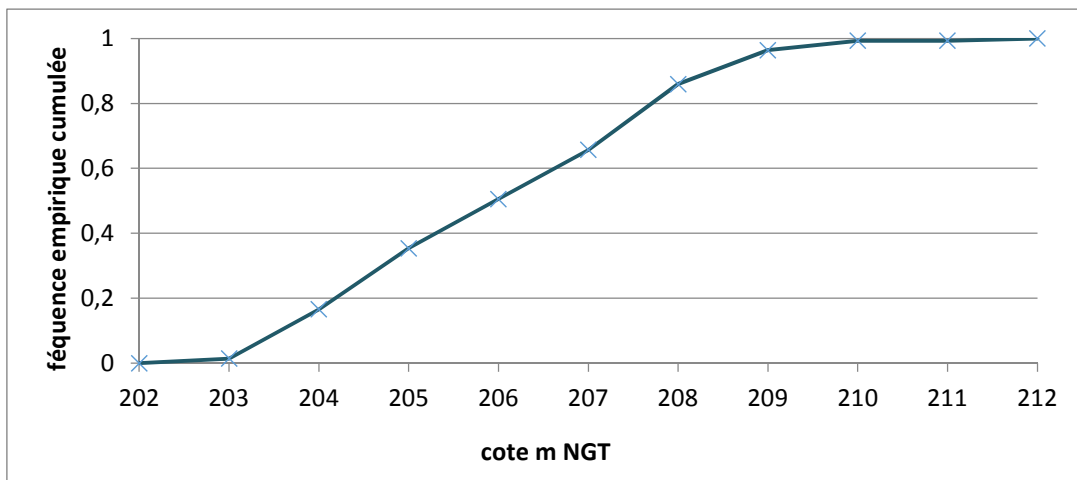


Figure 4: Fonction de répartition empirique de niveau de l'eau dans le barrage El Haouerb

Le volume annuel moyen sorti du barrage est de $17,7 \text{ Mm}^3/\text{an}$ dont le volume évaporé est de $3,9 \text{ Mm}^3$ et représente 22,05 % du volume total sorti. Le volume infiltré constitue le terme le plus important du bilan il est estimé à $10,22 \text{ Mm}^3/\text{an}$ et représente 57,64 %. Le volume l'irrigation qui commence qu'après 5 ans de la mise en eau a augmenté progressivement et constitue 16,7 % du volume total avec $2,79 \text{ Mm}^3/\text{ans}$. Les volumes de dévasement, de déversement et les lâchés d'eau pour la recharge de la nappe ne constituent que 3,5 %, donc entre 70 et 90 % de volume perdu par évaporation ou par infiltration (Figure 5).

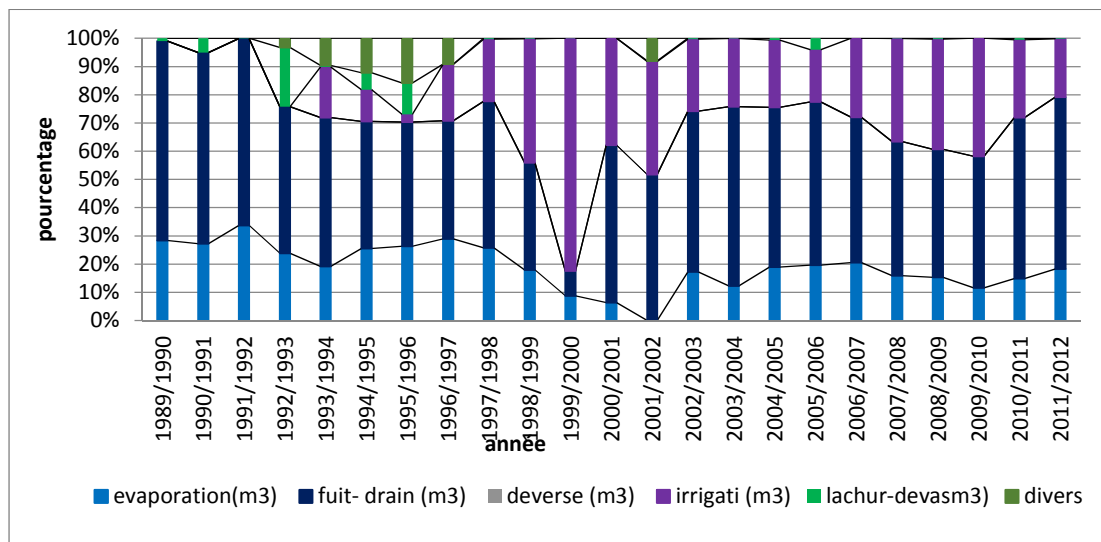


Figure 5: Sorties annuelles du barrage El Houareb (m3)

2.1.2 BARRAGE SIDI SAAD

Le barrage de *sidi Saad* a été installé à l’embouchure de l’oued *Zeroud* suite aux crues catastrophiques de 1969 pour protéger la ville de Kairouan contre les inondations. Le barrage de *Sidi Saad* est exploité par la suite pour l’irrigation et la recharge de la nappe du Kairouan à l’aval. *Ben Mammou* et *Louati* (2007) [8] ont montré, par l’étude de l’évolution temporelle de l’envasement des barrages de Tunisie, que L’alluvionnement moyen annuel de barrage *sidi Saad* a passé de 0,98Mm³ en 1988 à 2,41Mm³ en 1993 et il est égal à 2,9Mm³ en 2000 [9], [8].

La côte de la retenue normale est de 270m, celle des plus hautes eaux est de 298m. La capacité du réservoir à la côte de la retenue normale est 209Mm³, la tranche destinée au laminage des crues est 1785 Mm³. L’évolution de la côte d’eau dans la retenue de barrage *Sidi Saad* depuis sa mise en eau jusqu’à 2012 montre que le niveau de l’eau n’a dépassé la côte de déversement, de 270m, que durant l’épisode d’apport important entre janvier 1990 et 1993 (suite à la crue exceptionnelle de 1990) et entre Septembre 1995 et Novembre 1995 (Figure 6). Sur un échantillon constitué par les côtes de l’eau dans la retenue du barrage à la fin de chaque mois sur une période de 24 années on procède ici par l’analyse de la distribution empirique de la côte de remplissage, illustrée dans la figure 7. On remarque que le niveau de l’eau dépasse rarement la côte de la retenue normale (270m) avec une fréquence empirique égale à 0,18. La côte de l’eau est inférieure à la côte 267m avec une fréquence de 0,75. Le volume moyen soutiré du barrage *Sidi Saad* est de 57Mm³/an. Le volume d’eau d’irrigation a augmenté à partir de 1998 et constitue 50 % de volume soutiré. Le pourcentage du volume évaporé par rapport au volume total varie entre 30 et 40 % de volume total. Alors que celui relatif au dévasement, déversement et les lachures pour la recharge de la nappe varient entre 10 et 20 % (Figure 8).

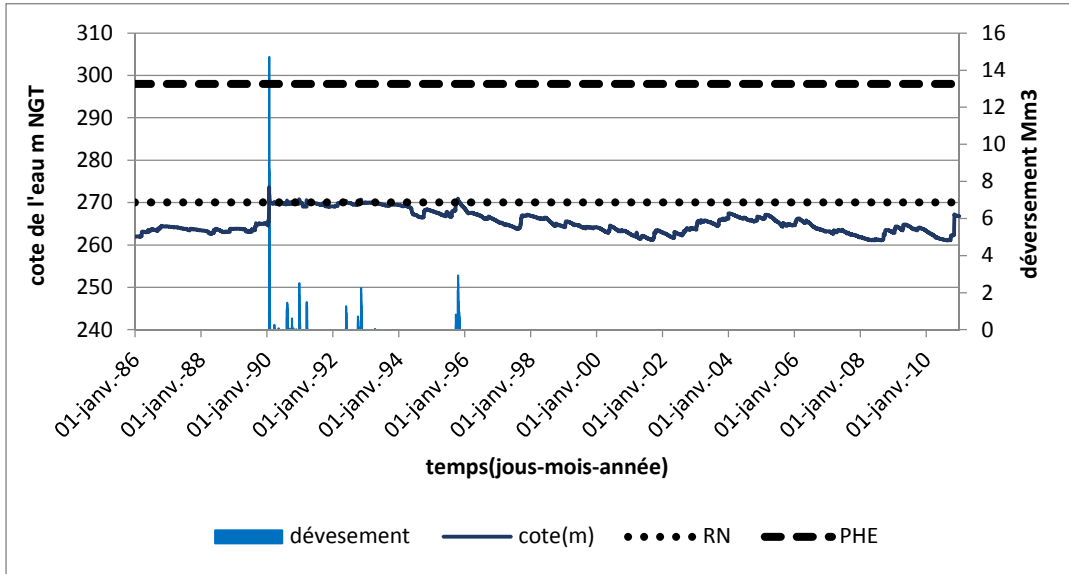


Figure 6: Evolution de la cote d'eau dans la retenue de barrage sidi Saad

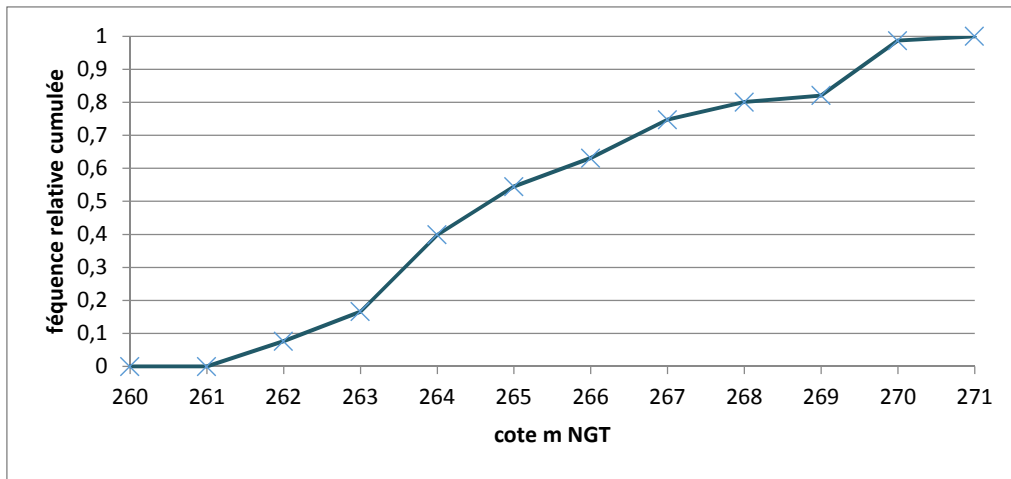


Figure 7: Fonction de répartition empirique des côtes de niveau de l'eau dans la retenue Sidi Saad

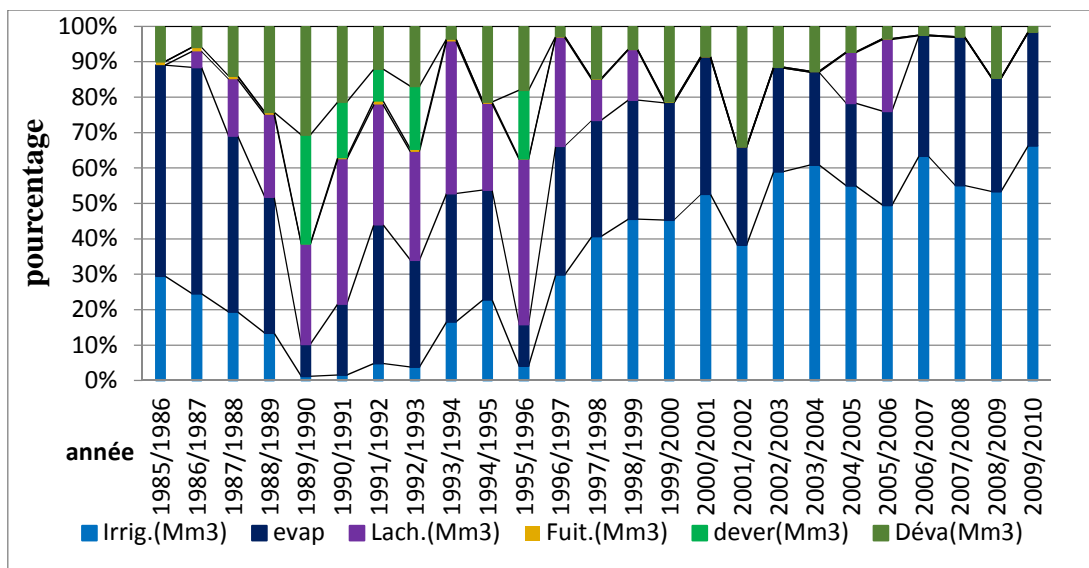


Figure 8: Les volumes soutirés du barrage Sidi Saad

2.2 LA MODELISATION PLUIE-DEBIT : SIMULATION DES APPORTS DES BARRAGES

Le modèle GR2M est un modèle pluie-débit globale conceptuel développé sur des bassins versants français par Cemagref à pas de temps mensuel. Makhoulouf (1994) [10] a travaillé sur un modèle mensuel en proposant une version à deux paramètres, GR2M, qui a par la suite été amélioré par [11] [12] [13]. Ce modèle a été utilisé dans le cadre de cette étude pour plusieurs raisons : d'une part, on cite sa robustesse et sa simplicité. D'autre part, il nécessite seulement deux entrées : la pluie et l'ETP et il ne présente que deux paramètres à caler [14], [11], [13]. Dans ce modèle, la transformation de la pluie en débit est décomposée en différentes composantes et le fonctionnement du bassin versant est représenté par des réservoirs interconnectés ou le débit de vidange dépend du taux de remplissage (Figure 9). Les équations décrivant les processus comportent des paramètres empiriques non mesurables, qui doivent être obtenus par calage [13] Ce modèle ne comporte que deux paramètres à caler :

X_1 : Capacité du réservoir de production exprimée en mm.

X_2 : Coefficient d'échanges souterrains

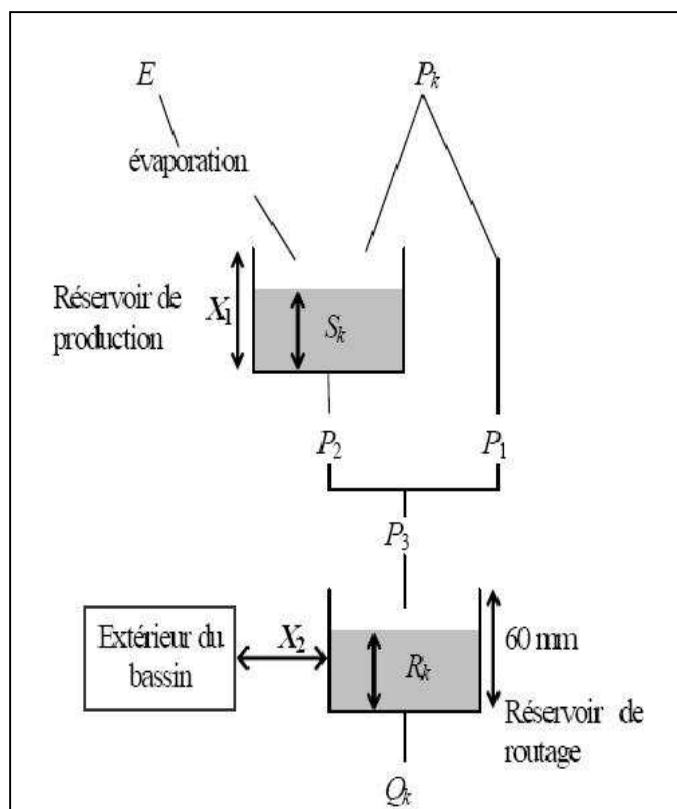


Figure 9: Schémas de la structure du modèle GR2M

Le modèle GR2M est constitué par deux composants majeurs pour simuler le débit à l'exutoire : un module de production et un module de routage ou transfert :

Un module de production : responsable de la détermination des bilans en eau, c'est-à-dire de la répartition de la pluie brute en pluie nette en quantité évaporée et en quantité stockée. Il est constitué par un réservoir sol caractérisé par son remplissage maximal. Cette fonction repose sur une équivalence de suivi d'humidité du sol pour déterminer la pluie nette à partir de la pluie brute.

Un module de routage : ou de transfert : permettant d'assurer la répartition temporelle de la quantité d'eau transitant dans le cours d'eau.

Les équations qui régissent le modèle sont les suivantes [13] :

- *Production :*

Une partie P_s de la pluie P_k (pluie mensuelle du mois k) va être ajoutée au contenu S_k dans le réservoir au début du pas de temps :

$$P_s = \frac{X_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{S_k}{X_1}\right)^2 \cdot \tanh\left(\frac{P_k}{X_1}\right)\right)}{1 + \frac{S_k}{X_1} \cdot \tanh\left(\frac{P_k}{X_1}\right)}$$

La pluie P_1 en excès est donnée par $P_1 = P - P_s$

Le contenu du réservoir est devenu $S' = S_k + P_s$

Sous l'effet de l'évapotranspiration, une quantité E_s est prélevée du réservoir avec E est l'évapotranspiration potentielle moyenne du mois K

$$E_s = \frac{S' \cdot \left(2 - \frac{S'}{K_1}\right) \cdot \tanh\left(\frac{E}{X_1}\right)}{1 + \left(1 - \frac{S'}{X_1}\right) \cdot \tanh\left(\frac{E}{X_1}\right)}$$

Et le niveau S' devient $S'' : S'' = S' - E_s$

- *Percolation :*

Le réservoir se vidange ensuite selon une percolation P_2

$$P_2 = S'' \cdot \left\{ 1 - \left[1 + \left(\frac{S''}{X_1}\right)^3 \right]^{-1/3} \right\}$$

Le niveau S_{k+1} du réservoir pour le calcul du mois suivant est :

$$S_{k+1} = S'' - P_2$$

- *Routage :*

La quantité de pluie P_3 qui atteint le réservoir de routage est :

$$P_3 = P_1 + P_2$$

Et le niveau R_k du réservoir devient R'

$$R' = R_k + P_3$$

F et un terme d'échange en eau souterrain F qui est calculé par :

$$F = (X_2 - 1) \cdot R'$$

Et le niveau de réservoir :

$$R'' = X_2 \cdot R'$$

Réservoir de la capacité maximale 60 mm se vidange pour donner un débit Q_k :

$$Q_k = \frac{R''^2}{R'' + 60}$$

Et le contenu du réservoir devient :

$$R_{k+1} = R'' - Q_k$$

2.2.1 LES SÉRIES DE DONNÉES UTILISÉES : PLUVIOMÉTRIE

Les bassins versants de Zeroud et Merguellil appartiennent à une zone recevant une pluviométrie annuelle entre 200 et 400 mm. La pluviométrie la plus importante considérée comme exceptionnelle est celle relative à l'année 1969 qui a dépassé 740 mm. Pour la modélisation les deux stations pluviométriques Sidi Saad et Haffouz ont été choisies respectivement pour le bassin Sidi Saad et El Haouareb vu la qualité et la longueur des enregistrements (Tableau 1).

Tableau 1: Séries pluviométrique de station Sidi Saad et El Haouareb

Station	date	Moyenne (mm)	Ecart-type (mm)	Coefficient de variation
Sidi Saad	sept-1956/mai 2011	255	121	0,47
Haffouz	sept-1968/mai 2011	316	145	0,46

2.2.2 ÉVAPOTRANSPIRATION

Pour éviter les problèmes de collecte et de lacune des données, un modèle d'estimation de l'évapotranspiration potentielle proposé par Ludovic (2004) est choisi ici. C'est la méthode la plus simple à utiliser et ne demande que la température et l'altitude. L'évapotranspiration potentielle (ETP) a été estimée alors par ce modèle à partir des données de températures de la station de Kairouan.

2.2.3 DÉBITS

Aucune station à l'entrée directe de deux barrages El Haouareb et Sidi Saad. Ceci nous amène à estimer les apports en se basant sur le bilan hydrique des retenues. L'apport mensuel obtenu est en m³/mois, il faut alors le rapporter à la surface totale du bassin versant pour le transformer en mm/mois. On dispose alors de 31 et 36 années des apports observés respectivement pour le barrage El Haouareb et Sidi Saad (Tableau 2).

Tableau 2: Caractéristiques des séries des apports aux barrages sidi Saad et El Haouareb

	Date	Moyenne (Mm3)	Max (Mm3)	Min (Mm3)	Ecart-type	Coefficient de variation
El Haouareb	janvier 1986/ décembre 2010	3	481	0	29,0	8,4
Sidi Saad	août 1989/ août 2012	5	178	0	13,1	2,6

2.3 COUPLAGE GR2M-GENERATEUR DE PLUIE

L'étude des séries pluviométriques historique enregistrées a montré que la pluie mensuelle est très aléatoire ce qui nous a amené à développer une nouvelle méthodologie pour générer une série de pluie mensuelle. Dans l'article publié par Mouelhi et al (2016) [15] une explication très détaillée de la démarche de cette méthode qui est basée essentiellement sur la chaîne de Markov. Une série de pluie mensuelle générée sur 100 ans est obtenue pour chaque station et qui vont être utilisés comme entrées pour le modèle Pluie-débit pour générer des chroniques des apports futurs aux barrages qui vont servir par la suite dans la simulation de la gestion future des barrages.

Ardion (2004) [16] a montré qu'il est difficile de prévoir l'évolution des paramètres X1 et X2 d'un modèle GR2M et pour la simulation future on a supposé que les paramètres ayant servi au calage et à la validation des modèles GR2M sur la période observée resteront les mêmes. Pour constituer une série de l'évapotranspiration potentielle future on a transposé toute la série enregistrée dans l'historique sur la période future jusqu'à obtenir une série de 100 années puisque Oudin (2004) [17] a montré que le modèle est peu sensible à l'ETP.

2.4 SCÉNARIOS DE GESTION DE BARRAGE

Nous tentons dans cette étude de répondre à la question Est-ce que c'est possible de concilier entre le transfert et les autres objectifs assignés aux barrages ? en utilisant les résultats du couplage du modèle GR2M avec les pluies générées et tout en imaginant des scénarios futurs de gestion pour estimer le volume d'eau transférable. Chaque scénario simulé vise à satisfaire un objectif de gestion dans l'immédiat ou à préserver le stock nécessaire dans la retenue. Pour la simulation future deux scénarios ont été simulés pour estimer le volume mensuel soutiré de deux barrages. Dans le premier les sorties mensuelles sont estimées par des volumes moyens avec le volume de recharge de nappe et le deuxième scénario sans recharge. Le tableau 3 résume les volumes mensuels sortis des deux scénarios pour les deux barrages. Et puisque les deux barrages se trouvent dans une zone semi-aride où la variabilité d'apports est très forte, d'où la nécessité de prendre en considération dans les scénarios de gestion les risques de sécheresse et de l'inondation par un volume d'eau minimale à conserver dans la retenue pour la satisfaction future dans une période définie. Pour le volume de sécurité deux scénarios ont

été considérés. **Scénario 1** ; Dans ce scénario le volume à conserver pour l'irrigation est le volume moyen jusqu'à la mobilisé depuis le début effectif de l'irrigation. Ce volume égal à $4,2\text{Mm}^3/\text{an}$ pour le barrage d'El Haouareb et $24\text{Mm}^3/\text{an}$ pour le barrage de Sidi Saad. Les pertes aussi ont été calculées par la moyenne des pertes annuelles depuis la mise en eau. La sécurité est assurée ou bien pour une année (Tableau 4) ; **Scénario 2** : Dans ce scénario la réserve satisfait la sécurité moyenne d'irrigation et la recharge moyenne mobilisée jusqu'à la depuis la mise en eau (Tableau 5). A la fin quatre mode de gestion vont être appliqués pour chaque barrage deux pour les sorties mensuelles et deux pour le volume de sécurité

Tableau 3: Sorties mensuelles moyennes de deux barrages Sidi Saad et El Haouareb

		Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	juin	juillet	août
Scénario moyen El Haouareb	évaporation	0,40	0,31	0,22	0,18	0,15	0,19	0,31	0,31	0,54	0,60	0,68	0,60
	Irrigation	0,22	0,24	0,20	0,29	0,26	0,26	0,44	0,39	0,22	0,38	0,43	0,22
	recharge	0,20	0,63	0,05	0,36	0,13	0,27	0,00	0,94	0,39	0,00	0,00	0,01
	fuite	0,09	0,18	0,01	0,04	0,02	0,06	0,00	0,13	0,13	0,00	0,00	0,00
	somme avec recharge	0,90	1,35	0,47	0,87	0,56	0,78	0,74	1,78	1,28	0,98	1,11	0,82
	somme sans recharge	0,70	0,72	0,42	0,50	0,43	0,52	0,74	0,84	0,89	0,97	1,11	0,82
Scénario moyen Sidi Saad	Evaporation	1,56	1,02	0,69	0,47	0,42	0,55	0,88	1,19	1,66	2,25	2,73	2,31
	Irrigation	0,86	0,90	1,16	1,50	1,38	1,38	2,27	1,82	0,92	0,80	1,35	1,26
	recharge	1,51	1,80	1,88	1,95	2,79	0,71	1,67	0,95	3,58	1,50	1,47	1,69
	fuite	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	somme avec recharge	3,95	3,74	3,75	3,94	4,61	2,66	4,84	3,98	6,18	4,56	5,57	5,28
	somme sans recharge	2,44	1,94	1,87	1,99	1,82	1,95	3,17	3,03	2,60	3,06	4,10	3,59

Tableau 4: Volume de sécurité moyenne sans recharge : Scénario 1

Volume annuel (Mm3)	fuite	Evaporation	pertes totales	irrigation	recharge	volume de sécurité (1 ans)
El Haouareb	10,9	4,6	15,5	4,2	0	35,2
Sidi Saad	0,2	15,7	15,9	24	0	55,9

Tableau 5: Volume de sécurité moyenne avec recharge : scénarios 2

Volume annuel (Mm3)	fuite	Evaporation	pertes totales	irrigation	recharge	volume de sécurité d'une année
El Haouareb	10,9	4,6	15,5	4,2	2,97	38,17
Sidi Saad	0,2	15,7	15,9	24	21,51	77,31

En appliquant l'équation du bilan à chacune des retenues le modèle regarde mois par mois selon les sorties mensuelles et le volume à conserver la quantité d'eau disponible qui peut être transférée. Connaissant le volume à stocker minimale au début de mois j , on va calculer le volume transférable maximal durant le mois j sachant que le volume à la fin de mois $V(j)$ ne se baisse pas au-dessous de volume minimal à satisfaire.

L'équation de bilan :

$$V_T(j) = V_f(j-1) + V_A(j) - V_S(j) - V_R$$

Avec :

$V_T(j)$ = volume transférable du mois j

$V_f(j-1)$ = Volume à la fin de mois $j-1$

$V_A(j)$ = volume de l'apport au barrage pendant le mois j

$V_s(j)$ = Volume des sorties pour satisfaire les besoins de ce mois j

V_R = Volume à stocké pour la satisfaction des besoins d'une période définie

3 RÉSULTATS DISCUSSIONS

3.1 CALAGE DU MODEL GR2M

Le modèle pluie-débit conceptuel globale GR2M (Mouelhi, 2006) a été appliqué pour modéliser les apports des deux barrages *sidi Saad* et *El Haouareb*. Pour le calage la méthode calage/validation a été appliquée: séparation de la période disponible (Janvier 1990à Mars 2011) en deux sous-périodes indépendantes : calage du modèle sur la première période et test de simulation sur la seconde. Le critère cible servant à juger la fiabilité du modèle dans cette étude, n'est pas seulement le critère de Nash calculé sur les débits (Nash (Q)) mais aussi le critère de Nash calculé sur les logarithmiques des débits (Nash (ln(Q))) qui juge la simulation des faibles débits et le bilan global.

Pour le barrage d'El Haouareb le tableau 6 et la figure 10 montrent que le calage du modèle est satisfaisant avec un critère du Nash égal à 77,54%. Il diminue et atteint pour devenir 56,86 % dans la validation. Pour le barrage sidi Saad la méthode de calage/validation n'a pas donné des résultats satisfaisants sur toute la période depuis la mise en eau à cause de la forte variabilité de la pluie et la crue exceptionnelle de l'année 1990, ceci signifie que les faibles apports sont mal reconstitués. On a trouvé qu'il vaut mieux commencer à partir de l'année 1991 pour éliminer la forte variabilité des apports et juger la simulation par le critère Nash (ln(Q)) (Figure 11 et tableau 7).

Tableau 6: Paramètres de calage et validation du modèle GR2M : barrage El Haouareb

	Période de mise en route (mois)	Date de départ	Date de fin	X_1	X_2	Nash(Q)	Nash (vQ)	Nash (ln(Q))	Bilan
calage	24	01/01/1992	01/08/2001	2,07	0,24	77,54	71,54	55,12	95,14
validation	0	01/09/2001	01/03/2011	2,01	0,24	56,02	53,86	33,91	80,49

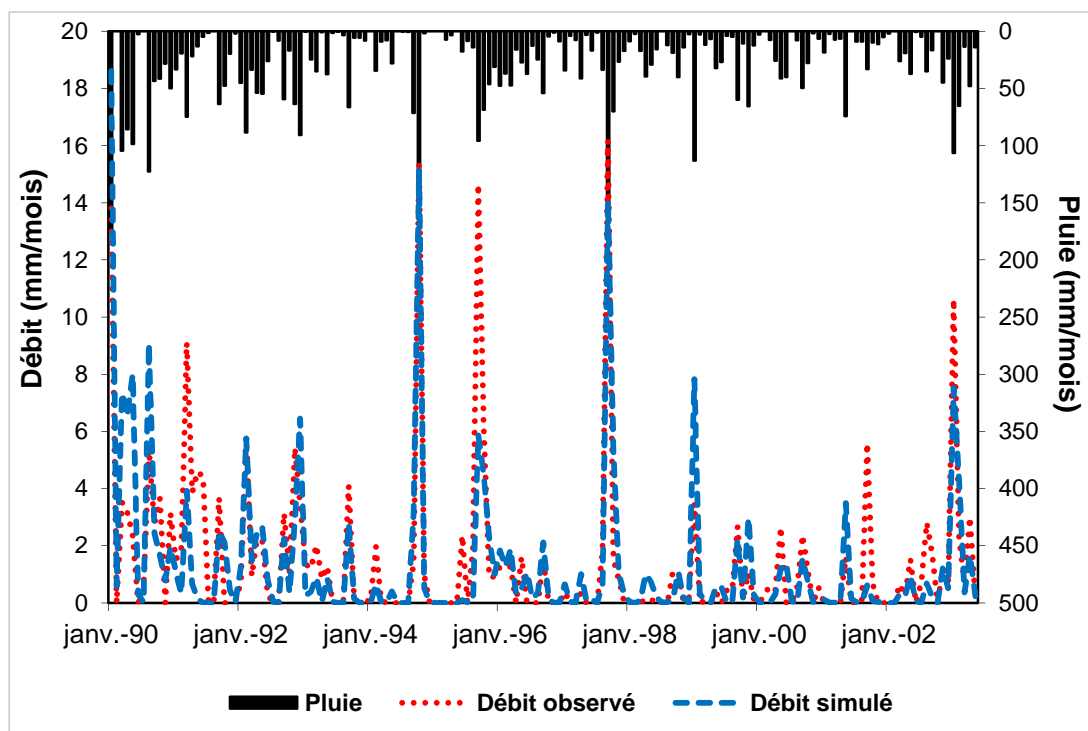


Figure 10: Débit observé et simulé par GR2M du barrage El Haouareb

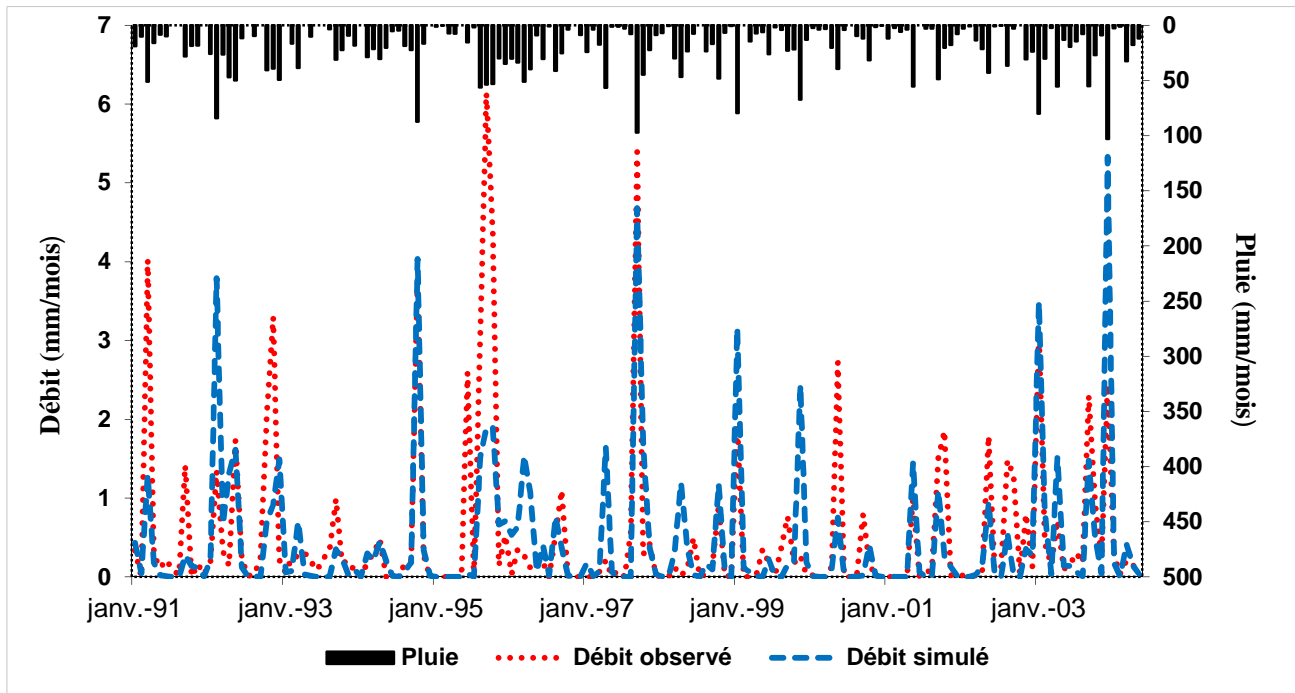


Figure 11: Débit observé et simulé par GR2M au niveau du barrage Sidi Saad

Tableau 7: Paramètres de calage et validation du modèle GR2M : Barrage Sidi Saad

	Période de mise en route (mois)	Date de départ	Date de fin	X_1	X_2	Nash (Q)	Nash(VQ)	Nash (ln(Q))	Bilan
Calage	36	01/01/1994	01/05/2002	2,22	0,22	51,2	52,1	47,5	88,3
Validation	0	01/06/2002	01/12/2010	2,22	0,22	-27,3	36,6	26,6	107

3.2 COUPLAGE : GÉNÉRATION DES APPORTS

Pour chaque barrage les séries des pluies générées sont utilisées comme entrées du modèle GR2M pour la simulation future, les paramètres X_1 et X_2 ont été maintenus constante. Les débits générés ont été comparés aux débits observés et aux débits reconstitués par le modèle dans la phase de simulation lors du calage.

Le tableau 8 montre que la moyenne des apports générés est de $0,9 \text{ Mm}^3$ qui est faiblement inférieur à la moyenne observée et reconstituée. L'écart type des apports observés est plus élevé que les autres mais pour toutes les autres caractéristiques statistiques les valeurs sont très proches. Pour le barrage de Sidi Saad toutes les caractéristiques statistiques sont très proches mais on remarque que les apports générés sont plus proches aux apports reconstitués par le modèle GR2M comme il est clair dans le tableau 9.

Tableau 8: Comparaison des apports générés, observés et reconstitués par le model GR2M du Barrage El Haouareb

	Apports générés 2010-2106	Apports observés 1990-2010	Apports reconstitués (GR2M) 1990-2010
Moyenne	0,9	1,7	1,5
Coefficient d'asymétrie	5,3	3,8	3,8
Ecart-type	1,8	3,4	3,0
Médiane	0,2	0,5	0,3
1 quartile	0,0	0,0	0,0
Min	0,0	0,0	0,0
3iem quartile	0,8	1,8	1,4
Max	22,2	23,2	21,7
Coefficient de variation	2,1	1,9	2,0

Tableau 9: Comparaison des apports générés, observés et reconstitués par le model GR2M du Barrage Sidi Saad

	Apports générés 2010-2086	Apports observés 1986-2010	Apports reconstitués (GR2M) 1986-2010
Moyenne	4,46	4,11	3,32
Ecart-type	8,45	8,90	8,57
Coefficient d'asymétrie	3,45	4,23	4,70
Coefficient de variation	1,90	2,16	2,58
1 er quartile	0,21	0,07	0,03
2 ième quartile	4,21	3,56	2,36
Maximum	59,14	76,10	77,55
Minimum	0,00	0,00	0,00

3.3 SIMULATION DE REMPLISSAGE

Les graphiques 12 et 13 illustrent les volumes à la fin du mois pour chaque scénario des sorties mensuelles. Le scénario des sorties moyennes sans recharge est le plus optimiste et le volume dans le barrage restera plus grand que les deux volumes de sécurité. Pour le scénario des sorties moyennes avec recharge la fréquence de dépassement de volume de sécurité 36Mm³ est très faible.

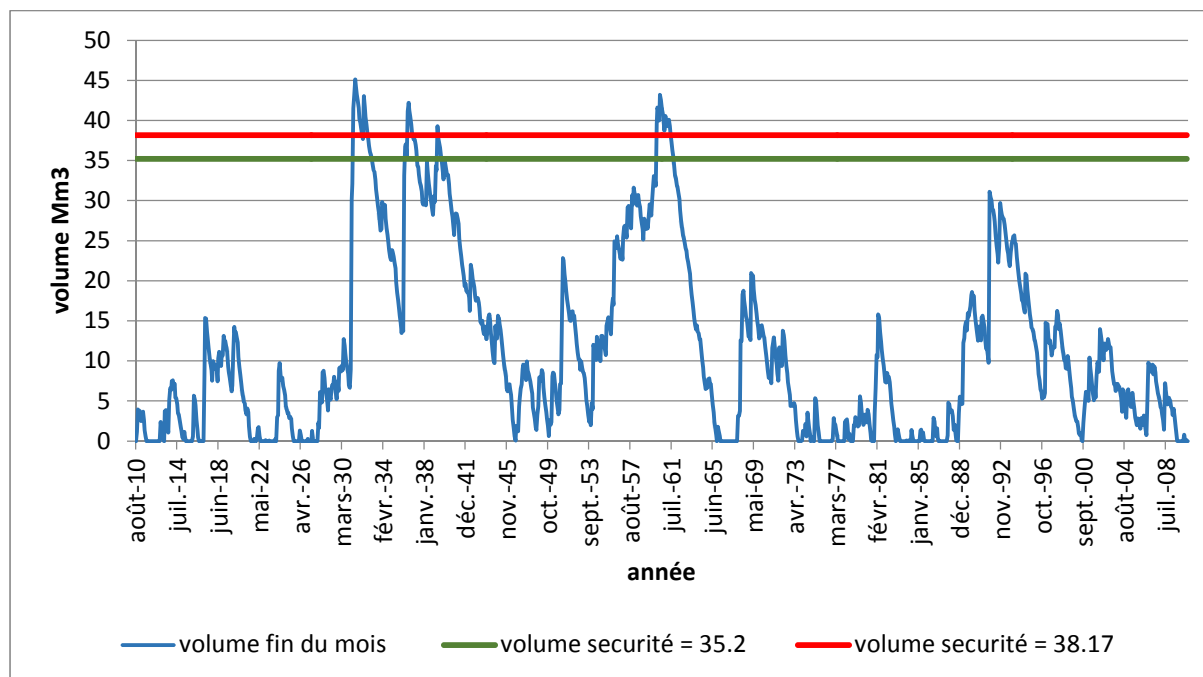


Figure 12: Scénario des sorties mensuelles moyennes avec recharge : Barrage El Houareb

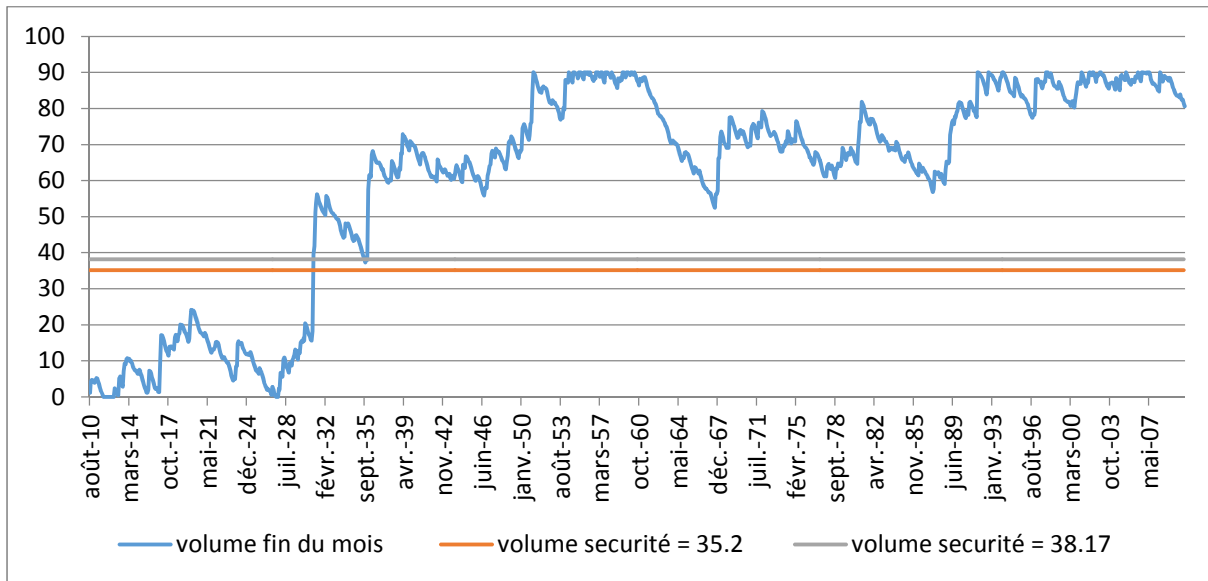


Figure 13: Scénario des sorties mensuelles moyennes sans recharge : Barrage El Hauareb

Les figures 14 et 15 montrent le volume à la fin du mois après la simulation de remplissage du barrage sidi Saad. Le scénario de sorties mensuelles moyennes sans recharge (Figure 15) est le plus optimiste où le volume est supérieur à tous les volumes de sécurité d'où la possibilité de transférer l'eau est très grande.

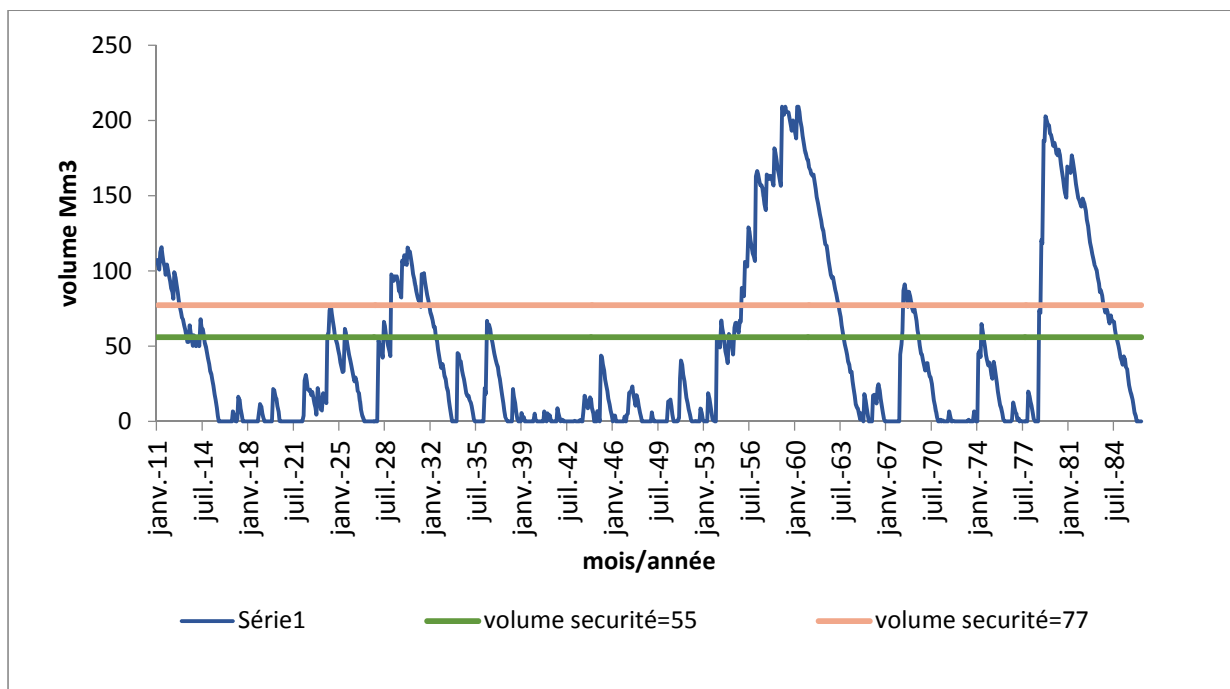


Figure 14: Scénario des sorties mensuelles moyennes avec recharge : Barrage Sidi saad

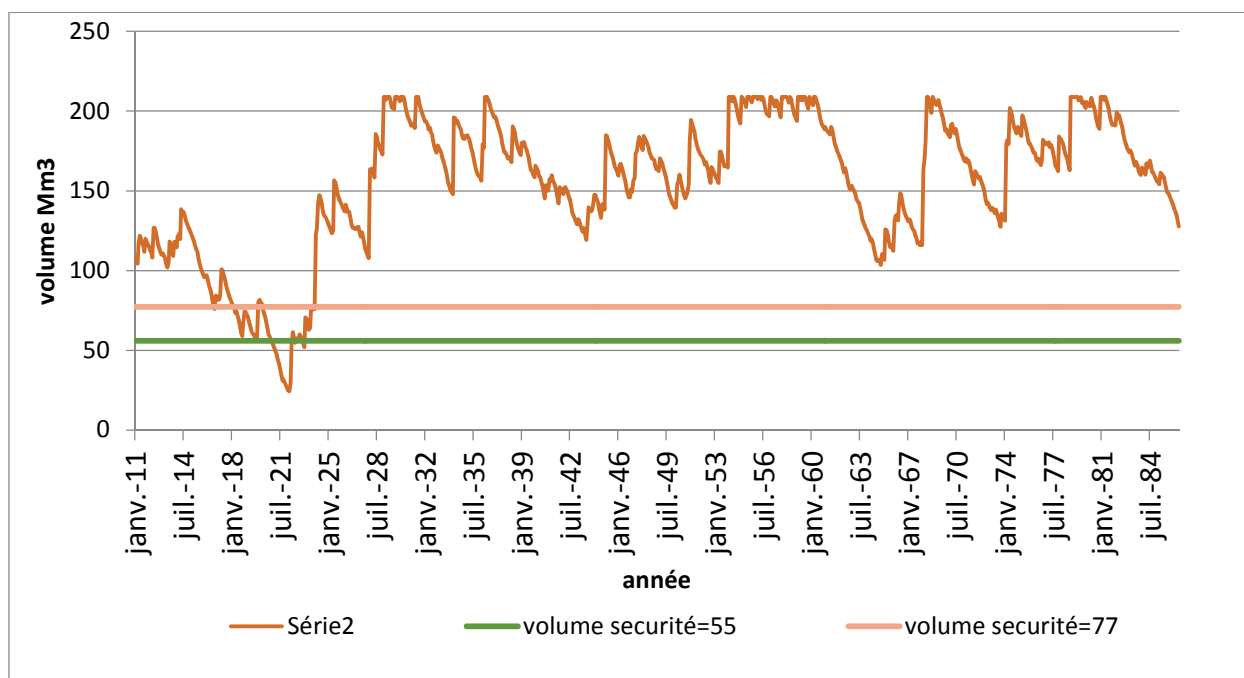


Figure 15: Scénario des sorties mensuelles moyennes sans recharge : Barrage Sidi saad

Pour le scénario des sorties moyennes avec recharge (Figure 15) la fréquence de dépassement est moyenne pour le faibles seuil (55Mm^3) et faible pour les grands seuils (77Mm^3).

4 CONCLUSION

Une étude des bilans annuels et mensuels des deux barrages Sidi Saad et El Haouareb a été effectuée afin d'acquérir une idée sur l'historique de remplissage et les volumes disponibles dans les barrages tout au long de l'année. Dans le but de reconstituer une série des apports futurs aux barrages au pas de temps mensuel, un couplage entre un générateur de pluie et un modèle pluie débit a été effectué. Les apports générés par le couplage sont utilisés dans la simulation de remplissage de deux barrages Sidi Saad et El Haouareb. Des scénarios ont été développés pour estimer l'évolution des sorties mensuelles et le volume de sécurité à laisser dans le barrage avant tout transfert envisageable. En appliquant l'équation du bilan il s'avérait que le scénario le plus optimiste pour le transfert et celui des sorties mensuelles moyennes sans recharge pour les deux barrages. Des études ultérieures ont montré que le niveau de la nappe du Kairouan est en chute continue depuis la mise en eau des deux barrages qui ont limité la recharge naturelle par l'écoulement des oueds. Ces études ont montré aussi qu'une recharge artificielle est possible à travers la nappe phréatique de la plaine de Kairouan dans des zones bien précises. Une valorisation de volume d'eau disponible dans les deux barrages après la satisfaction des besoins par la recharge de la nappe du Kairouan sera plus facile à mettre en œuvre qu'un transfert entre deux barrages d'une même région où le risque de sécheresse peut affecter en même temps les deux bassins.

REFERENCES

- [1] Bouzaiane S. et Lafforgue A., (1986). Monographie des oueds Zeroud et Merguellil. Tunis ORSTOM/DGRE.
- [2] Ben Ammar S., (2007). Contribution à l'étude hydrogéologique, géochimique et isotopique des aquifères de Ain el Beidha et du bassin du merguellil (plaine de Kairouan) : implications pour l'étude de la relation barrage-nappes. Thèse de doctorat Université de Sfax Faculté des sciences, Sfax : 226 p.
- [3] Nazoumou Y., (2004). Rapport technique : analyse du réservoir aquifère de la plaine de Kairouan. Tunis IRD/DGRE
- [4] Nazoumou Y. and Besbes M. (2001). Estimation de la recharge et modélisation de nappe en zone aride : cas de la nappe de Kairouan. Impact of Human Activity on Ground water Dynamics Maastricht, Netherlands.
- [5] Nazoumou Y., (2002). Impact des barrages sur la recharge des nappes en zones aride : étude par modélisation numérique sur le cas de Kairouan (Tunisie centrale). Thèse de doctorat, Ecole nationale d'ingénieurs de Tunis : 251 p.

- [6] Chaieb H., (1988). Contribution à la réactualisation des modèles hydrogéologiques de la plaine de Kairouan. Mémoire de DEA, Faculté des sciences Tunis : 77 p.
- [7] Garreta P., et Ouerghemmi A., (1998). Note sur l'envasement du barrage d'el Haouareb : Résultats des nivellements de 1998 et mise à jour de la bathymétrie de la retenue d'El Haouareb, Evaluation des apports en sédiments. Tunis, ORSTOM&DG/ETH.
- [8] Ben Mammou A. et Louati M. H., (2007). Évolution temporelle de l'envasement des retenues de barrages de Tunisie. Revue des sciences de l'eau 20(2), 201-210.
- [9] Ben Mammou A., (1995). Quantification, identification et propriétés physiques des sédiments de la retenue du barrage sidi Saad (centre de la Tunisie). Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'ingénieur Paris.
- [10] Makhoulouf Z., (1994). Compléments sur le modèle pluie-débit GR4J et essai d'estimation de ses paramètres. Thèse de doctorat Université Paris-Sud, Cemagref : 413 p.
- [11] Mouelhi S., (2003). Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier. Thèse de doctorat, Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts, Cemagref&INGREF Paris : 323 p.
- [12] Mouelhi S., Madani K., et al., (2013). A Structural Overview through GR(s) Models Characteristics for Better Yearly Runoff Simulation Open Journal of Modern Hydrology 3, 179-187.
- [13] Mouelhi S., Michel C., et al., (2006). Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. Journal of Hydrology 318(1-4), 200-214.
- [14] Perrin C., (2000). Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble Cemagref Antony 291 p.
- [15] Mouelhi, S. , Nemri, S. , Sihem, J. and Mohamed, S. (2016) Using the Markov Chain for the Generation of Monthly Rainfall Series in a Semi-Arid Zone. Open Journal of Modern Hydrology, 6, 51-65.
- [16] Ardoin S., (2004). Variabilité hydro climatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne. Thèse de doctorat, université Montpellier II, Montpellier : 440 p.
- [17] Oudin L., (2004). Recherche d'un modèle d'évapotranspiration potentielle pertinent comme entrée d'un modèle pluie-débit global. Thèse de doctorat, Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts, Cemagref&INGREF Paris : 495 p.

CARTOGRAPHIE DES FORMES D'ÉROSION HYDRIQUE DANS LA COMMUNE URBAINE D'ATTÉCOUBÉ (ABIDJAN, CÔTE D'IVOIRE)

[MAPPING OF WATER EROSION FORMS IN THE URBAN DISTRICT OF ATTECOUBE (ABIDJAN, COTE D'IVOIRE)]

Brou Étienne N'DRI¹, Kadio Hilaire NIAMKE¹, Aimé KOUDOU¹, and Yao Alexis N'GO²

¹Département Eau, Géosciences et Environnement, UFR Environnement,
Université Jean Lorougnon GUEDE,
02 BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Géoscience, UFR Science et Gestion de l'Environnement,
Université Nangui Abrogoua,
02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: The current work aims to map the different forms of erosion which are expressed in the district of Attecoube. From georeferenced aerial photographs and based on the concepts of texture and structure, the different forms of erosion were discriminated on the screen. Many field visits, with tablets, GPS and tape measure (for measurements) allowed checking and adjusting the interpretations made on screen. These high-tech devices were also used for capturing images. Then, we superimposed the erosion forms map at the slopes map of the study area. Three main forms of erosion were revealed:

- diffuse erosion covers 14,32% of the study area;
- gully erosion which manifest itself on every slope range, covers 66.39% of the Attecoube district;
- mass wasting localised, cover only 06.82% of the study area.

KEYWORDS: Erosion, Attecoube, aerial photograph, texture, structure, slope.

RESUME: Le présent travail a pour objectif de cartographier les différentes formes d'érosion qui s'expriment dans la commune d'Attécoubé. A partir de photographies aériennes géoréférencées et en se fondant sur les notions de texture et de structure, nous avons discriminé les différentes formes d'érosion à l'écran. De nombreuses visites sur le terrain, avec des tablettes, GPS et de ruban métrique (pour les caractéristiques métriques), ont permis de vérifier et d'ajuster les interprétations faites à l'écran. Ces appareils de très haute technologie ont aussi permis les prises de vue. Ensuite, nous avons superposé la carte des formes d'érosion à la carte des pentes de la zone d'étude. Trois formes principales d'érosion ont révélées.

- L'érosion diffuse occupe 14,32% de la zone d'étude ;
- l'érosion de ravinement qui se manifeste sur toutes les gammes de pente occupent 66,39% du territoire de la commune d'Attécoubé ;
- les mouvements de masse, localisés ne s'extériorisent que sur 06,82% du territoire d'étude ;

MOTS-CLEFS: Erosion, Attécoubé, photographie aérienne, texture, structure, pente.

1 INTRODUCTION

La commune d'Attécoubé, notre zone d'étude étant constituée de plus de 80 % de quartiers précaires [1], semble être significativement affectée par l'érosion hydrique. Elle tire cette vulnérabilité de la nature du sol, essentiellement formé de dépôts détritiques sablo-argileux et argileux [2], à très faible stabilité structurale [3], l'insuffisance du réseau de drainage des eaux de ruissellement, l'occupation anarchique du terrain, etc. Un tel environnement est propice à l'érosion hydrique dont la manifestation se traduit sous plusieurs formes. Dans notre étude, à l'aide de données images et de nombreuses visites de terrain, nous essayerons de cartographier les diverses formes d'érosion hydrique qui se manifestent dans la commune d'Attécoubé.

2 PRÉSENTATION DU SITE D'ÉTUDE

Attécoubé est l'une des dix communes de la ville d'Abidjan, capitale économique de la Côte d'Ivoire. Cette localité est limitée au nord par la commune d'Abobo, au sud par les communes de Plateau et Treichville, à l'est par les communes d'Adjamé et Plateau et à l'ouest par la commune de Yopougon (Figure 1). Le site d'étude s'étend sur une superficie de 70 km², soit 11,2 % de la superficie totale de la ville d'Abidjan. Mais 40 km² sont couverts par la forêt du Banco et 5 km² correspondent au plan d'eau de la lagune Ébrié [4]. Seuls 25 km² sont habités, par environ 300 000 habitants [5], ce qui donne une densité moyenne de 12 000 habitants par km² habité [6].

En dehors des espaces aménagés, le couvert végétal est essentiellement constitué par des plantes herbacées (*Rottboellia Cochinsinensis* et *Panicum Maximum*). Celles-ci colonisent la plupart des surfaces non bâties et sont régulièrement détruites au profit de cultures urbaines ou pour l'implantation anarchique d'habitations de fortune.

Sur tout le secteur, affleurent des formations détritiques, dont les matériaux proviennent de l'érosion du socle [1]. Des sols ferrallitiques à texture sableuse s'y sont développés [7].

Le climat qui y règne est le type tropical, caractérisé par les pluies fréquentes, abondantes et violentes.

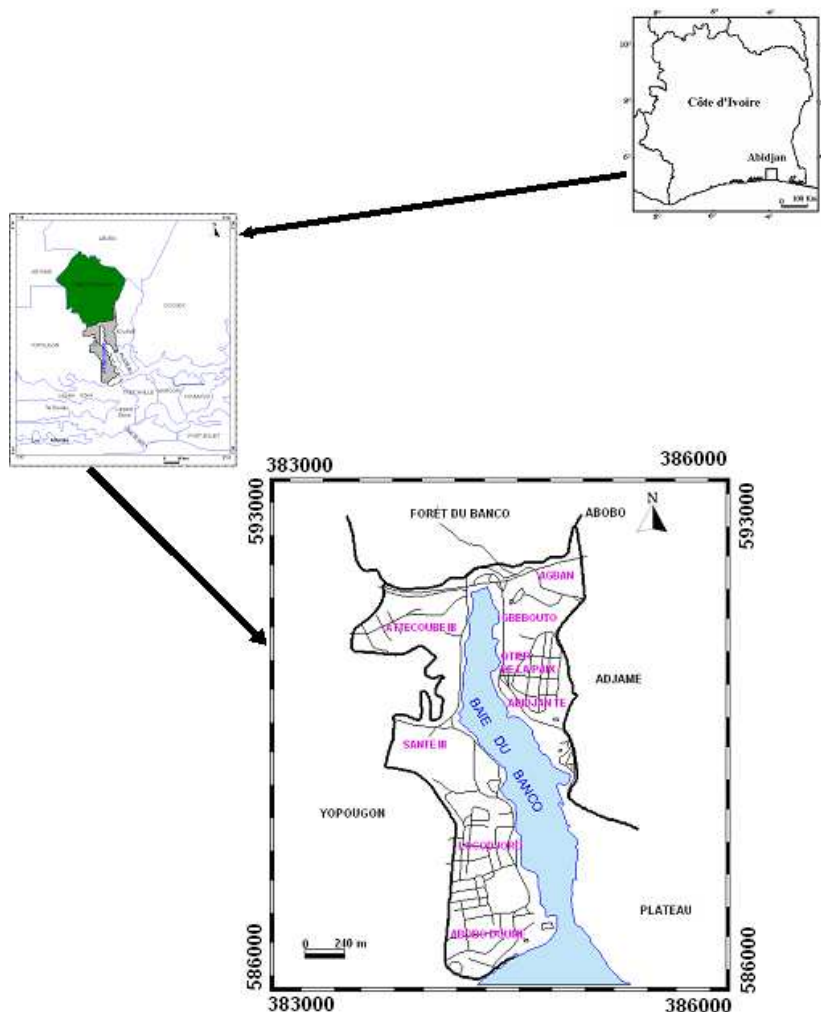


Figure 1. Présentation de la zone d'étude

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Selon [8], la réalisation de la carte des formes d'érosion passe par une étape fondamentale d'interprétation des photographies aériennes. Notre démarche repose sur l'exploitation d'une photographie aérienne datant de 2005, ensuite sur des observations terrain.

3.1 RÉALISATION DE LA CARTE DES FORMES D'ÉROSION : INTERPRÉTATION VISUELLE

Sur la base des notions de texture, structure et tonalité, nous avons pu discriminer de manière assez précise les différents types d'érosion en lisant directement à l'écran le comportement des différentes formes d'érosion. En effet, ces notions traduisent le comportement des formes d'érosion sur les photographies aériennes. En procédant ainsi, nous avons essayé de faire ressortir les différents types d'érosion qui se manifestent dans la zone d'étude et d'extraire le maximum d'information des photographies aériennes du fait d'une absence d'un modèle unifié de classification assez reconnu pour les formes d'érosion [9].

3.2 CORRECTION, VÉRIFICATION, AJUSTEMENT

Des déplacements terrains, assurant un échange permanent entre la réalité terrain et l'interprétation ont permis de corriger, vérifier et ajuster la localisation et les limites des différentes formes d'érosion sur le terrain. Ces relevés ont été effectués avec des technologies modernes (GPS, tablettes, etc.).

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 DIFFERENTES FORMES D'ÉROSIONS OBSERVEES DANS LA ZONE D'ÉTUDE

L'impact des gouttes des pluies et l'énergie du ruissellement sont les agents actifs responsables des formes d'érosion hydrique. Dans notre zone d'étude, les orages intenses occasionnent un très fort ruissellement en dehors des lits des cours d'eau et produisent diverses formes d'érosion hydrique des sols selon la pente et la nature du sol.

ÉROSION NON APPARENTE

L'érosion non apparente est une forme d'érosion non perceptible sur le terrain qui intéresse les espaces occupés par des habitats réglementaires denses. Cette forme d'érosion occupe une superficie de 311,75 hectares, soit 12,47% de la superficie totale de la commune urbaine d'Attécoubé.

ÉROSION DIFFUSE

La formation d'un excès d'eau en surface et le ruissellement conduisent au détachement et au transfert des particules en suspension entraînant une érosion diffuse de versant qui décape progressivement la surface du sol (**photo1**). Sa caractéristique fondamentale est l'exposition des racines des arbres. Sur cette photo, l'on voit la mise à nu des racines de l'arbre et le sapement du mur par l'érosion dite régressive. A la longue, ce processus peut causer le déracinement de l'arbre et l'effondrement du mur. L'érosion diffuse intéresse 358 hectares de la zone d'étude, soit 14,32% de la surface totale d'Attécoubé.



Photo 1 : Exposition des racines Par l'érosion diffuse sur versant (Locodjro Février 2005)

ÉROSION DE RAVINEMENT

Le sol de la commune d'Attécoubé ayant une résistance médiocre à l'érosion [10], l'on assiste, pendant les différentes saisons des pluies à des formations et aggravations de ravines, aussi bien au niveau des terrains presque plats qu'au niveau

des terrains en pente. En effet, l'écoulement des eaux se concentre dans des chenaux plus ou moins grands et l'énergie cinétique du ruissellement est suffisamment grande pour détacher les sédiments de la surface du sol. La **photo 2** montre sur un terrain incliné (pente 18 %) une ravine formée pendant les pluies de mai et juin 2005. Le sol sableux à structure particulière présente une érodibilité forte vis-à-vis de l'érosion hydrique. Dans ces terrains meubles, les eaux de ruissellement qui ne sont pas canalisées par les talwegs préexistants et les caniveaux, dégradent considérablement le paysage, surtout pendant la grande saison des pluies. Sur de vastes surfaces presque planes, le ruissellement choisit des trajets plus ou moins hasardeux, composant d'étonnants glacis d'érosion, qui rendent difficile, voire impossible la circulation. Egalement au niveau des versants, on enregistre d'extraordinaires ravinements. Sur les pentes fortes on rencontre des ravines ramifiées, coupées de rigoles sur pente, rendant complexe l'occupation des tels espaces. L'activité érosive, favorisée par des pentes assez fortes (souvent supérieures à 17 %), a rapidement provoqué la formation de nombreuses rigoles sur les versants. Ces incisions atteignent jusqu'à un mètre de profondeur (**photo 3**). Cette forme d'érosion s'exteriorise sur 1659,75 hectares, soit 66,39% de la superficie totale de la commune d'Attécoubé.



Photo 2 : Formation de ravines sur terrain incliné (pente 18%) à Santé, juin 2005 (profondeur: 0,3 – 0,5 m ; L = 24m ; l = 0,7 – 1,2m)



Photo 3 : Erosion de ravinement sur versant, 2005 (Mossikro, Pente, 60 %)

Une autre forme d'érosion qui s'observe est celle qui se manifeste au fond des canaux d'évacuation mis en place pour le drainage des eaux de toutes natures. Le sol de la zone d'étude (en partie constitué de sables) présente une forte érodibilité. Les eaux de drainage provoquent dans les fonds des talwegs et ravins existants le détachement et le drainage des particules, accentuant davantage la profondeur, qui peut atteindre 3 à 4 m (**photo 4**).



Photo 4 : Manifestation de l'érosion de profondeur, Santé, mai 2005 (Profondeur 1.6m)

MOUVEMENT DE MASSE DANS LA ZONE D'ÉTUDE

Les mouvements de masse sont des formes d'érosion qui se rencontrent régulièrement à Attécoubé. Ils se manifestent essentiellement au niveau des pentes fortes des versants abrupts (**photo 5**). Ces mouvements de masse qui peuvent être aussi bien des glissements de terrain comme des coulées de boue sont devenus depuis peu, des phénomènes à répétition, présentant un caractère récurrent. Chaque année, en saisons pluvieuses, on enregistre des mouvements de masse dans la commune d'Attécoubé.

Les mouvements de masse concernent seulement 6,82% de la superficie de la surface totale de la zone d'étude, c'est-à-dire occupent 170,5 hectares des sols d'Attécoubé.



Photo 5: Mouvement de masse survenu le 17 juin 2005 entraînant la destruction d'habitations avec mort d'hommes (Mossikro, pente 45 %)

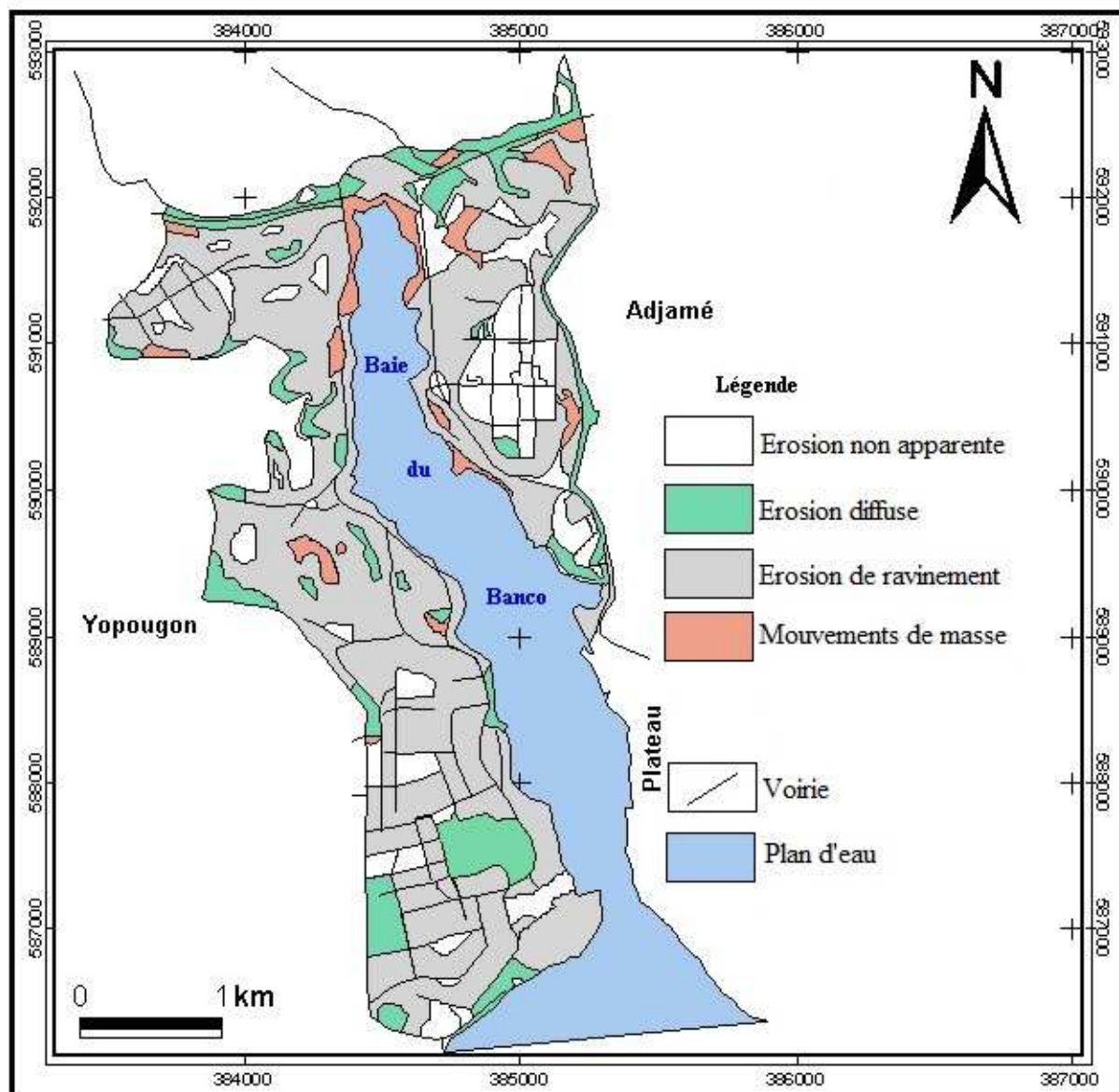


Figure 2. Carte des formes d'érosion d'Attécoubé

DISCUSSION

Les formes d'érosion sont étroitement liées à la pente et à la lithologie [11]. Dans notre cas d'étude, nous avons une répartition constante d'un seul faciès sur tout le secteur d'étude, essentiellement constitué de sols ferrallitiques à texture sableuse [1]. Pour cela, nous allons établir la relation entre les formes d'étude et le seul paramètre pente. Pour le faire, nous avons superposé la carte des formes d'érosion avec la carte des pentes de la zone d'étude et cela a donné ce qui suit.

L'érosion régressive est sélective et se rencontre notamment sur une classe de pente bien définie, à partir de 50%. L'eau fait son travail sur pente très forte. L'érosion régressive se manifeste par le sapement des talus des versants. L'absence d'aménagement efficace et le manque d'entretien de l'existant sont les facteurs en cause. Cette forme d'érosion provoque généralement l'effondrement des maisons bâties en amont de ces talus.

L'érosion de ravinement est quant à elle la forme de l'érosion hydrique la plus répandue et la plus spectaculaire dans notre zone d'étude. En effet, le sol d'Attécoubé étant de nature tendre, car constitué essentiellement de sable et d'argile, est vulnérable à ce genre de phénomène. Ce type d'érosion touche toutes les classes de pente. Le sol est si profondément entaillé que les dépressions qui se forment créent des désagréments à l'environnement, entre autres des ravineaux des

voies de circulation. L'écoulement superficiel des eaux qui génère ce type de paysage est généralement le résultat d'absence ou d'insuffisance de canaux de drainage des eaux de ruissellement.

LES MOUVEMENTS DE MASSE

Les mouvements de masse se manifestent également dans des endroits bien localisés. Cette forme d'érosion se manifeste sur des pentes fortes et longues, à partir de 40%. Ce sont des phénomènes qui sont liés à des événements pluvieux exceptionnels, mais leur déclenchement est souvent provoqué par une intervention humaine. L'instabilité des versants des nombreuses vallées, généralement associée aux activités humaines accentue le ravinement puis l'effondrement de ces versants. De tels événements surviennent généralement pendant les pics des saisons de pluies (juin et octobre) lorsque le régime des eaux de pluies est le plus propice à l'érosion.

5 CONCLUSION

La présente étude a fait le constat de la dégradation du sol de la commune urbaine d'Attécoubé. La commune d'Attécoubé est une zone sans égale, du point de vue action érosive. Les superficies affectées par l'érosion par ravinement et les mouvements de masse sont très importantes et dépassent de loin des résultats obtenus dans tous autres secteurs soumis à des études similaires. Il s'agit d'une situation très alarmante devant une insuffisance criarde de canaux d'évacuation des eaux ainsi qu'une absence d'effort de protection et de conservation de sol. Plus de 87% du territoire de la zone d'étude sont sujets à l'érosion et se catégorise comme suit : 66,39% des sols sont ravinés, 6,82% sont sujets à l'effondrement tandis que 14,32% sont menacés par l'érosion diffuse. Le reste, soit 12,47% est concerné par l'érosion non apparente.

REFERENCES

- [1] B.E. N'DRI : Analyse des facteurs et quantification du ruissellement et de l'érosion hydrique par les outils de télédétection et systèmes d'information géographique dans la commune d'Attécoubé (Abidjan, Sud de la Côte d'Ivoire). Thèse unique de doctorat de l'Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 141p., 2008.
- [2] J. P. TASTET : Environnement sédimentaire et structure du quaternaire du littoral du Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Togo et Bénin), thèse doc. ès Sc. Nat., Bordeaux I, n° 621, 212p., (1979).
- [3] E.J. ROOSE : Dynamique actuelle d'un sol ferrallitique sablo-argileux très désaturé sous cultures et sous forêt dense humide subéquatoriale du Sud de la Côte d'Ivoire : Adiopodoumé : 1964-1975, 204 p., 1980.
- [4] D. TRAORE : Dotation d'une collectivité locale d'outil de pilotage social : Mairie d'Attécoubé. DESS, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 78p., 2002
- [5] RGPH : Rapport national sur l'état de la population et de l'habitat en Côte d'Ivoire, phase 1, (1998), 218p.,1998.
- [6] BNETD : Quartiers précaires d'habitats à Abidjan. Atelier d'urbanisme d'Abidjan ; pp. 3-87., 1992.
- [7] E. J. ROOSE ET M. CHEROUX : Les sols du Bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire. ORSTOM Adiopodoumé. 1 carte pédo. A 1/200.000, 42p., 1966.
- [8] A. FALEH et A. MAKTITE, "Cartographie des zones vulnérables à l'érosion hydrique à l'aide de la méthode PAP/CAR et SIG en amont du barrage Allal El Fassi, moyen atlas (Maroc) ", Papeles de Geografia, 59-60 (2014), pp. 71- 82, 2014.
- [9] M. NAIMI, M. TAYAA et S. OUZIZI "Cartographie des formes d'érosion dans le bassin versant de Nakhla (Rift occidental, Maroc) ", Science et changements planétaires/Sécheresse, vol.16, N°1, pp. 79-82, 2005.
- [10] B. E. N'DRI, K. H. NIAMKE, S. BAKAYOKO, G. SORO, K. C. NIANGORAN et Y. A. N'GO, "Cartographie des risques liés à l'érosion hydrique dans la commune urbaine d'Attécoubé, Abidjan Côte d'Ivoire", Afrique SCIENCE 11 (5) (2015), pp. 214-226, 2015.
- [11] J. RITTER L'érosion du sol – Causes et effets. Fiche technique N°89 -064 du Maaaro, 2012.

Déterminants de la sécurité routière à Goma en République démocratique du Congo: analyse des informations issues des procès-verbaux de la police

[Goma Road security Determinants in the Democratic Republic of Congo: Report analysis from Police oral trials]

Woolf Kapiteni¹, Drissa Sia², Eric Tchouaket², and Hermès Karemere¹

¹École Régionale de Santé Publique, Université catholique de Bukavu, RD Congo

²Faculté des sciences infirmières, Université du Québec en Outaouais, Canada

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

ABSTRACT: Introduction: Road traffic accidents constitute a major public health problem because of death, disability and trauma with medical, surgical, psychological, mental, economic, social and sometimes legal formidable complications resulting from them. Socio-professional reintegration of the survivors of accidents can become complex. This study identifies the main determinants of road security in Goma in the Democratic Republic of Congo and offers prevention strategies adapted to the context. Methodology: The study is descriptive cross and analysis data collected from police oral trials about traffic accidents occurred during 2015. Resultats: The study essentially shows that 36% of the accidents occurred on weekends (Saturday and Sunday); 25.5% of the accidents took place between 18 and 21 hours; the main cause of accidents was the bad driver behavior, including speeding and drunk steering wheel. Serious injuries (24.5%) and death (11.9%) were dreadful consequences. Discussion and conclusion: Accidents can be avoided. The study proposes strategies to reduce road traffic accidents by securing users the road, the vehicle and the road infrastructure. The implementation of these strategies is heavily dependent on the political will of the authorities of the DR Congo.

KEYWORDS: road security, road traffic accident, causes and consequences of accidents, data traffic police, Goma, Democratic Republic of Congo.

RÉSUMÉ: Introduction : Les accidents de trafic routier constituent un problème de santé publique majeur du fait des décès, incapacités et traumatismes qui en découlent avec des conséquences médico-chirurgicales, psychologiques, psychiatriques, économiques, sociales et parfois juridiques redoutables. Les survivants des accidents causent des problèmes de réinsertion socioprofessionnelle. La présente étude identifie les principaux déterminants de la sécurité routière dans la ville de Goma en République démocratique du Congo et propose des stratégies de prévention adaptées au contexte. Méthodologie : L'étude est descriptive transversale et analyse des données collectées à partir des procès-verbaux des accidents de trafic routier élaborés par des officiers de la police routière de Goma et survenus au cours de l'année 2015. Résultats : L'étude démontre essentiellement que 36% des accidents sont survenus la fin de semaine (samedi et dimanche) ; 25,5 % des accidents avaient eu lieu entre 18 et 21 heures; la principale cause des accidents était le mauvais comportement du conducteur incluant l'excès de vitesse et l'ivresse au volant et que les blessures graves (24,5%) et la mort (11,9%) faisaient partie des conséquences redoutables. Discussion et conclusion : Des accidents peuvent être évités. L'étude propose des stratégies pour réduire les accidents de trafic routier en sécurisant les usagers de la route, le véhicule et l'infrastructure routière. La mise en œuvre de ces stratégies est fortement tributaire de la volonté politique des autorités de la RD Congo.

MOTS-CLEFS: Sécurité routière, accident de trafic routier, causes et conséquences des accidents, données de la police de circulation routière, Goma, République démocratique du Congo.

1 INTRODUCTION

Un accident de trafic routier (ATR) est un accident qui a lieu sur le réseau routier entre un engin roulant (automobile, moto, vélo, etc.) et toute autre chose ou personne et qui engendre des blessures humaines et/ou des dégâts matériels. Les ATR constituent un problème de santé publique majeur du fait des décès, incapacités et traumatismes qui en découlent avec des conséquences médico-chirurgicales, psychologiques, psychiatriques, économiques, sociales et parfois juridiques redoutables [1-5]. La plupart des accidents de la route peuvent être classés dans les accidents évitables et des décès évitables[6], que l'on cherche à réduire par la prévention au travers une éducation des usagers de la route [7, 8], une amélioration technique des véhicules et des réseaux d'infrastructures, et un changement des comportements des chauffeurs [9, 10]. Dans le monde chaque année, les accidents de la route s'accompagnent de millions de décès et de personnes qui resteront handicapées tout au long de leur vie, sans parler des dégâts matériels et des conséquences financières sur le système de santé et sur l'économie des ménages et des pays[4]. Selon l'OMS, le nombre de décès dus à des accidents de la circulation – 1,25 million en 2013 – stagne depuis 2007 en dépit de la croissance mondiale de la population et du nombre de véhicules à moteur. Cette stagnation, dans le contexte d'une croissance de la population mondiale de 4% entre 2010 et 2013 et la hausse de 16% du nombre de véhicules dans la même période laisse penser que les interventions mises en œuvre ces dernières années afin d'améliorer la sécurité routière dans le monde ont permis de sauver des vies. Les taux de mortalité liés aux accidents de la circulation sont deux fois plus élevés dans les pays à revenu faible ou intermédiaire que dans les pays à revenu élevé et la région africaine demeure la plus touchée (26.6 décès pour 100000 habitants dans la région africaine contre seulement 9,3 décès pour 100 000 habitants dans la région européenne selon le rapport de l'OMS produit pour l'année 2015)[11].

Situé au cœur de l'Afrique, la République démocratique du Congo (RDC) ne semble pas être épargnée des conséquences des accidents du trafic routier [12]. En effet, l'état défectueux des routes, la conduite en état d'ébriété par certains automobilistes et motocyclistes, l'excès de vitesse, le mauvais état des véhicules, le non port du casque par motocyclistes, le non-respect du code de la route, l'absence de signalisation routière, la cohabitation des différents modes de transport (piétons, deux-roues, voitures, animaux et camions), l'usage du téléphone au volant et tant d'autres pratiques sont des facteurs pouvant occasionner des accidents de la route.

Plusieurs études décrivent les accidents de la route et présentent des stratégies de leur prévention et atténuation [4, 11, 13-15]. Des études menées en République démocratique du Congo, notamment à Lubumbashi[12, 16], à Kisangani [17] et à Bukavu [18] mettent l'accent sur la fréquence des accidents, les facteurs de survenue de l'accident, les caractéristiques des victimes, les conséquences de l'ATR, la description des lésions traumatiques chez les victimes et des recommandations pour renforcer la prévention des ATR. Ces études, limitées aux villes de Lubumbashi, Bukavu et Kisangani, ont été réalisées principalement à partir des informations hospitalières des victimes [12, 17, 18] et rarement des informations issues de la police de circulation routière [16], plus complètes sur les ATR[19].

La présente recherche adopte la perspective d'explorer les données des procès-verbaux sur les ATR collectées par la police de la circulation routière d'une autre ville de la RDC, celle de Goma. L'étude vise à identifier les déterminants de la sécurité routière et à proposer des stratégies préventives appropriées au contexte.

2 METHODOLOGIE

2.1 DESCRIPTION DE L'ETUDE, DU TERRAIN D'ETUDE ET DE L'ECHANTILLON

L'étude a eu lieu à Goma, une ville située à l'est de la RDC Goma et dont la population avoisine 723000 habitants[20] sur une superficie de 75,72 km². C'était une étude descriptive transversale ayant ciblé 708 accidents de trafic routier (ATR) enregistrés dans la ville par la police de la circulation routière au cours de l'année 2015.

2.2 COLLECTE DES DONNÉES

Les informations ont été collectées à l'aide d'une revue documentaire des procès-verbaux élaborés lors de chacun des accidents. Les informations collectées sur les accidents du trafic routier ont concerné la date (jour de la semaine, mois et année), l'heure, le mécanisme de survenue, les causes, les conséquences ainsi que le type d'engin ayant provoqué l'accident. Le procès-verbal (PV) est un élément essentiel du traitement policier des affaires pénales qui vise l'élaboration du récit « objectif » des faits. Il permet, au travers d'une observation des pratiques, une reconstruction qui, par les positions respectives des interlocuteurs et les techniques d'écriture mises en œuvre, de substituer à des déclarations orales ambiguës ou contradictoires la version policière de l'incident [21]. Quatre types de procès-verbaux ont été exploités au cours de

l'étude. Premièrement le **PV d'audition** visant toute personne susceptible de fournir des renseignements sur les faits. Il s'agit dans ce cas d'un jeu de question-réponse devant permettre à l'officier de police judiciaire (OPJ) verbalisant d'asseoir sa conviction sur les indices de culpabilité d'un suspect. Deuxièmement le **PV d'information** qui a pour but de compléter l'instruction d'une affaire par des recherches supplémentaires, qu'il s'agisse du stade de l'enquête proprement dite ou de celui de l'instruction menées par le magistrat du parquet une fois que l'OPJ aura transmis ses procès-verbaux d'enquête préliminaire. Troisièmement le **PV de constat** dont l'indication d'un fait infractionnel est portée à la connaissance de l'officier du ministère public ou de l'OPJ et tache de décrire les circonstances, les preuves et l'indice à charge du suspect ou de l'inculpé. Enfin le **PV d'exécution**, un acte juridique rédigé par l'OPJ suite aux devoirs recommandés par l'officier du ministère public (OMP) à travers un PV d'information ou par une réquisition [22]. Au total, 716 PV ont été analysés parmi lesquels 215 PV d'audition (30%), 115 PV d'information (16%), 360 PV de constat (50%) et 26 PV d'exécution (4%).

2.3 ENCODAGE ET ANALYSE DES DONNÉES

Les données ont été validées au travers des entretiens avec les OPJ qui les avaient collectées avant d'être saisies et analysées à l'aide du logiciel Excel. Pour faciliter l'analyse, certaines variables ont été catégorisées. Les jours de la semaine ont été répartis en deux groupes (fin de semaine et autres jours de la semaine). Les heures de survenue de l'accident au cours d'une journée ont été regroupées en 8 tranches de 3 heures entre 6h et 24h. Les mécanismes de survenue des ATR ont été divisés en 3 possibilités de collision ; (1) la collision entre deux engins roulants (véhicule, moto, vélo, charrette, trottinette), (2) la collision entre un engin roulant et une infrastructure/ équipement fixe (poteau, maison, clôture, bordure, marchandise étalée par terre) et (3) la collision entre un engin roulant et un piéton. Toutes les trois autres variables à savoir la survenue des ATR selon le mois de l'année, les causes des ATR et leurs conséquences, n'ont pas été catégorisées et ont été analysées directement. Pour toutes les variables et selon la variable, les fréquences ; les proportions ; les moyennes ; les maxima ; les minima et le test de comparaison des proportions (Khi-carré) ont été calculés.

2.4 CONSIDÉRATIONS ÉTHIQUES

Le protocole de l'étude avait initialement été soumis à la hiérarchie de la police de la circulation routière de la provinciale du Nord Kivu pour validation et un comité local de l'école régionale de santé publique de l'Université catholique de Bukavu avait accordé son approbation. Un consentement éclairé a été obtenu auprès des OPJ avant les entretiens. L'anonymat des informateurs ainsi que la confidentialité des données individualisées des victimes des ATR ont été respectés.

3 RESULTATS

Au total ,708 accidents de trafic routier ont été enregistrés par la police routière de la ville de Goma au cours de l'année 2015.

3.1 REPARTITION DES ATR SELON LE MOIS

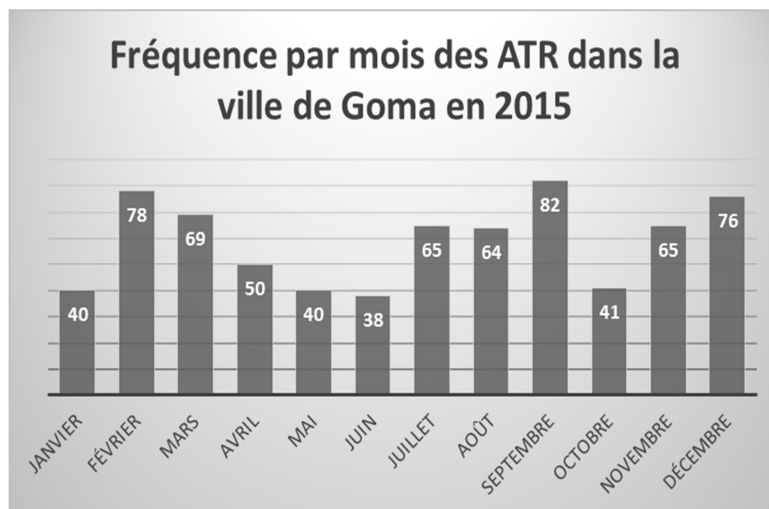


Figure 1. Fréquence des ATR selon le mois de l'année 2015

Le nombre moyen mensuel des ATR est de 59 soit environ 2 ATR par jour. Le plus grand nombre des ATR a été observé au mois septembre (82 ATR) et le plus petit au mois de juin. Le nombre d'ATR était de 76 en décembre.

3.2 REPARTITION DES ATR SELON LE JOUR DE LA SEMAINE

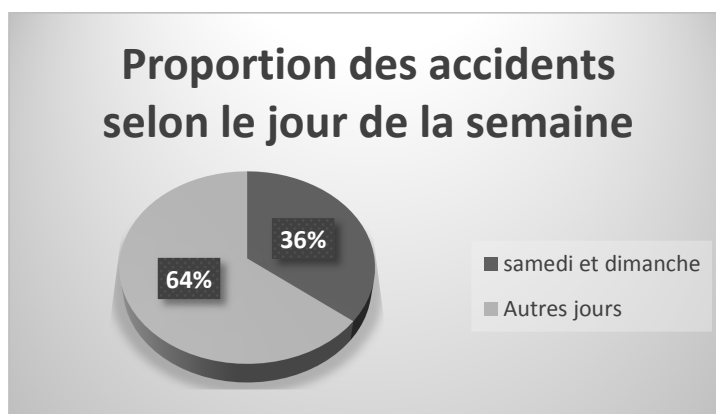


Figure 2 : Proportion des ATR selon les jours de la semaine

La proportion des ATR ayant survécu la fin de la semaine (samedi et dimanche) représente 36 % de l'ensemble des ATR pendant que la fin de la semaine ne représente que 29 % de l'ensemble de la semaine. La différence observée entre la survenue des accidents la fin de la semaine et les autres jours de la semaine n'est pas statistiquement significative (khi-deux = 0,882175)

3.3 REPARTITION DES ATR SELON L'HEURE DE LA JOURNEE

Tableau 1 : Proportion des ATR selon les heures de la journée

Tranche d'heure de survenue de l'accident	Nombre (%)
6H-9H00	79 (11,2)
9H-12H00	97(13,7)
12H-15H	128(18,1)
15H-18H	142(20,1)
18H-21H	182(25,7)
21H-24H	44(6,2)
24H-3H	21(3,0)
3H-6H	15(2,1)
Total	708(100)

Le nombre annuel moyen d'accidents par tranche de trois heures au cours d'une journée est de 89 avec une disparité importante entre le maximum et le minimum. Le plus grand nombre d'accidents est survenu entre 18 et 21h (25,7 % des ATR) et le plus faible entre 3h et 6h du matin. La proportion des accidents survenant entre 15h et 21h est de 45,8 % pour cette période qui représente 25 % de la journée. La différence observée entre cette période et le restant de la journée n'est pas statistiquement significative (Khi-deux = 0,61864166)

3.4 REPARTITION DES ATR PAR MECANISME DE SURVENUE DE L'ACCIDENT

Tableau 2 : Proportion des ATR selon le mécanisme de survenue

Mécanisme de survenue de l'accident	Nombre (%)
Collision Engin roulant - engin roulant	495(77,2)
Collision Engin roulant - Infrastructure/Équipement fixe	33(5,2)
Collision Engin roulant – Piéton	113(17,6)
Total	641(100)

Le mécanisme de survenue des ATR a été rapporté dans 641 PV soit dans 91 % des cas d'accidents (N=708). La collision entre engins roulant constitue le principal mécanisme de survenue des ATR (77,2 %).

3.5 REPARTITION DES ATR SELON LEURS CAUSES

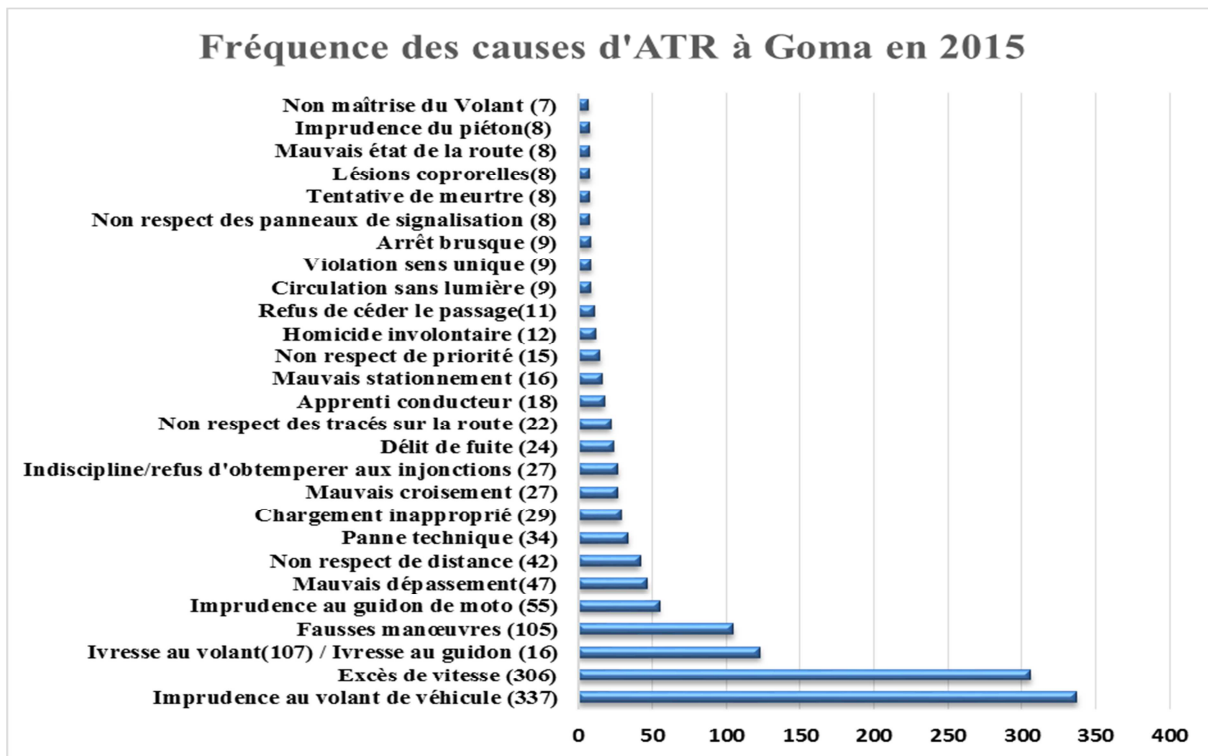


Figure 3a. Fréquence des causes d'ATR à Goma entre janvier et décembre 2015

Pour 708 accidents enregistrés, 1324 fréquences sont notées et ainsi pour certains accidents enregistrés, une ou plusieurs causes ont été identifiées. Prises individuellement, les 3 principales causes d'ATR dans la ville de Goma sont l'imprudence au volant (25,5 % des fréquences), l'excès de vitesse (23,1%) et l'ivresse au volant/ guidon (9,3%).

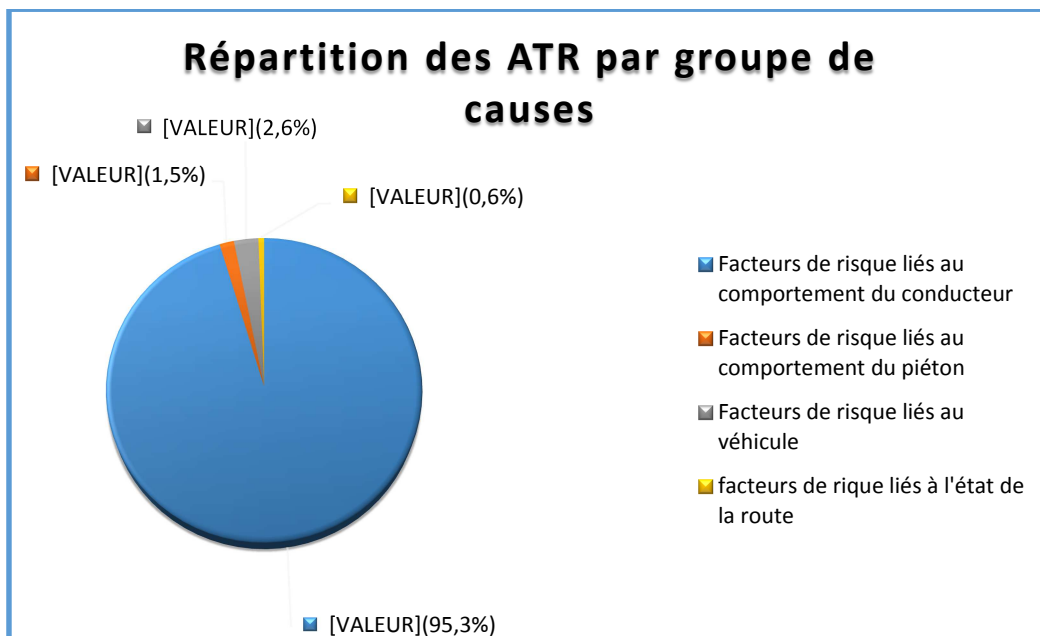


Figure 3b. Fréquence des ATR selon le groupe de causes

Regroupés, les principaux déterminants des ATR dans la ville de Goma paraissent plus liés au comportement du conducteur (95,3%) qu'au comportement du piéton (1,5%), à l'état du véhicule (2,6%) ou à l'état de la route (0,6%).

3.6 REPARTITION DES ATR SELON LEURS CONSEQUENCES

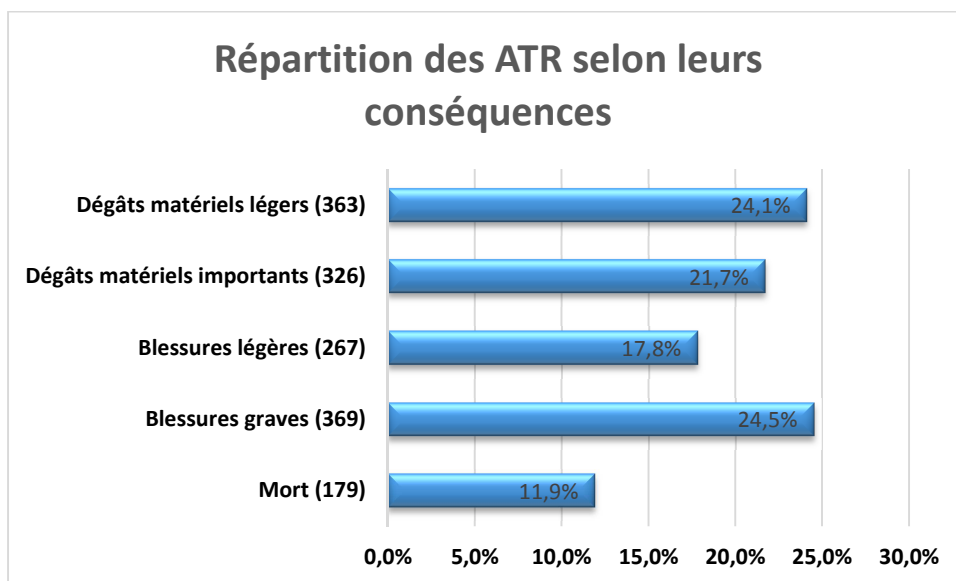


Figure 4 : Proportion des ATR selon leurs conséquences

Au cours d'un ATR, plusieurs conséquences pouvaient être enregistrées. Les blessures graves constituent le groupe de conséquences les plus fréquentes (dans 24,5% d'ATR). Le décès est enregistré dans 11,9% d'ATR.

4 DISCUSSION

Cette étude avait pour objectif d'identifier les déterminants de la sécurité routière à partir des informations collectées dans les procès-verbaux élaborés par les officiers de la police routière lors des ATR. L'étude visait également à proposer des stratégies préventives des ATR en tenant compte du contexte.

L'absence des données, notamment celles en rapport avec les caractéristiques socio-démographiques des victimes des ATR ainsi que sur la destination des engins roulant impliqués dans les ATR, n'a pas permis de réaliser une modélisation multi-variée en lien avec les déterminants des ATR. Cela constitue la principale limite de cette étude. Dans les paragraphes qui suivent nous présentons les principaux déterminants issus de l'étude ainsi que les recommandations pour renforcer la sécurité routière dans la ville de Goma.

4.1 DETERMINANTS DE LA SECURITE ROUTIERE DANS LA VILLE DE GOMA

Selon cette étude les principaux déterminants de la sécurité routière découlant des résultats sont (1) une surveillance efficace, permanente et accrue de la circulation routière les fins de semaine, (2) un comportement renforcé du conducteur pour une conduite plus sécuritaire aux heures vespérales et (3) Une protection formalisée des passagers, des piétons et des biens publics et privés.

4.1.1 SURVEILLANCE EFFICACE, PERMANENTE ET ACCRUE LES FINS DE SEMAINE DE LA CIRCULATION ROUTIERE

La fréquence plus élevée des ATR les fins de semaine (36%) pourrait être justifiée par le fait que les apprentis conducteurs (14^{ème} cause d'ATR selon notre étude) se mettent sur la route les fins de semaine, profitant de la réduction de la présence des officiers de la police routière. Aussi, durant les fins de semaine sont souvent organisées des fêtes, avec un risque accru d'ivresse au volant qui constitue la 3^{ème} cause d'ATR à Goma selon cette étude. Une surveillance efficace, permanente et accrue les fins de semaine de la circulation routière pourrait contribuer sensiblement à la réduction le nombre des ATR. Favrat et al ont en effet démontré que l'introduction des radars routiers entraînait la réduction de la vitesse chez des conducteurs et réduisait le nombre des accidents [23]

4.1.2 COMPORTEMENT RENFORCE DU CONDUCTEUR POUR UNE CONDUITE PLUS SECURITAIRE AUX HEURES VESPERALES

Au cours d'une journée, la majorité des ATR interviennent entre 6h et 18h (63,1%), ces résultats corroborent ceux de l'étude menée à Lubumbashi, une autre ville de la RDC où 74% des ATR étaient observées entre 6h et 18h [16]. En considérant les tranches de 3 heures au cours d'une journée, la fréquence la plus élevée (25,7%) des ATR est observée entre 18 et 21 heures (tableau 1). C'est au cours de cette tranche d'heures que des personnes retournent chez eux. Les conducteurs, notamment ceux des motos sont alors fatigués, inattentifs et pressés de ramener le grand nombre de passagers et deviennent ainsi imprudents au volant de voiture ou de moto (1^{ère} et 5^{ème} causes d'ATR, figure 3a). Une éducation des conducteurs à plus de vigilance renforcerait leur conduite sécuritaire et contribuerait à la prévention des ATR comme démontré dans d'autres études [7, 9, 10] et de manière particulière durant la tranche de 18 à 21 heures. Couplée à une surveillance efficace et permanente de la circulation routière, l'éducation des conducteurs pour une conduite sécuritaire pourra améliorer leur comportement, responsable de 62,9 à 95,3 % (figure 3b) des ATR observés à Goma, en considérant que l'excès de vitesse, 2^{ème} cause d'ATR à Goma mais 1^{ère} cause dans d'autres études [18] et l'ivresse au volant (3^{ème} cause d'ATR à Goma selon cette étude), sont attribués au comportement du conducteur. Plusieurs autres études ont en effet démontré que les principaux facteurs d'accidents de la route sont tout d'abord d'ordre comportemental (non utilisation de la ceinture de sécurité, non-respect des panneaux de signalisation, fatigue, utilisation du téléphone au volant...) [9, 14, 24, 25]. Dans 77,2 % des ATR à Goma il s'agit de la collision entre engins (tableau 2). La responsabilité des conducteurs est de nouveau sollicitée pour une conduite sécuritaire sur des routes où seulement des facteurs de risque associés au piéton (1,5%), à l'état de la route (0,6%) et au véhicule (2,6%) sont faibles (Figure 2b) à l'instar d'autres études menées en Afrique[24, 25].

4.1.3 UNE PROTECTION FORMALISEE DES PASSAGERS, DES PIETONS ET DES BIENS PUBLICS ET PRIVES

Les blessures graves (24,5% d'ATR) constituant le groupe des conséquences le plus important (figure 4) n'ont pas été décrites dans les PV. Elles laissent souvent des séquelles redoutables au niveau psychiatriques, économiques, psychologiques et même physiques comme décrits par l'OMS [4, 11]. Ces séquelles sont rarement pris en charge du fait de l'absence des assurances santé, vie ou invalidités et de l'inexistence des services adéquats de prise en charge psychologiques et psychiatrique dans la ville de Goma. Souvent négligés, les dégâts matériels importants représentent 21,7 % des

conséquences des ATR. Ils concernent par exemple l'endommagement irréversible des véhicules et des motos ou la destruction des clôtures des maisons. Les coûts des dommages des matériels engendrés par les ATR sont parfois énormes [26], même s'ils n'ont pas été mesurés au cours de la présente étude. Ces coûts reposent souvent entièrement sur les propriétaires des biens endommagés. Enfin, des décès sont rapportés dans 11,9% des ATR. Parmi les facteurs de décès et d'invalidité en cas d'ATR, outre les blessures graves, sont cités l'inaccessibilité immédiate aux services des soins d'urgence [2, 27, 28]. L'étude menée à Kisangani corrobore ce facteur et attribue la forte létalité précoce (5,7% de décès pour les ATR) à l'absence d'une prise en charge pré-hospitalière et d'un service de ramassage adéquat des victimes [17]. Les données collectées ne permettent pas de caractériser les personnes qui décèdent le plus au cours des accidents. L'étude conduite à Yaoundé au Cameroun démontre que les piétons et les motocyclistes sont les plus atteints lors des ATR [29]

4.2 RECOMMANDATIONS

Il est possible de prévenir des ATR qui font des blessés graves, des morts et des dégâts matériels, puisque le risque d'être blessé dans un accident est largement prévisible et qu'il existe de nombreuses contre-mesures dont l'efficacité est démontrée [13]. Il faut considérer les ATR et les traumatismes qui en résultent comme un problème de santé publique évitable, qui à l'instar de la malaria, des cardiopathies, du diabète, de la malnutrition ou des accidents cardio-vasculaires répond bien à des interventions ciblées.

Des progrès sont soulignés dans des endroits du monde où des plans stratégiques multisectoriels entraînent des améliorations graduelles dans la réduction du nombre de morts et de blessés sur les routes [11]. Ces stratégies ciblent les trois éléments clés du réseau routier à savoir les usagers de la route (conducteurs, passagers et piétons), les véhicules et l'infrastructure routière [13, 24].

4.2.1 STRATEGIES CIBLANT LES USAGERS DE LA ROUTE

Gérer l'exposition aux risques par des politiques de transport et de l'aménagement de la ville de Goma. A certaines heures, notamment dans la tranche d'heure de 18 à 23 heures où on note plus d'ATR, définir dans la ville de Goma des politiques privilégiant le transport en commun sur des axes bien définis afin d'une part de réduire le flux du transport des véhicules et motos privés et d'autre part de mieux organiser le transport public, contrôlé et réglementé. La deuxième intervention serait de mettre en place des mesures qui réduisent des déplacements en encourageant les gens à travailler de chez eux (développer internet et autres moyens de communication), en interdisant les transports des marchandises ou en les réglementant, en limitant les stationnements par l'instauration des frais de stationnement. Développer le transport en commun et inciter davantage leur utilisation en améliorant les itinéraires desservies et la délivrance des billets, multiplier les arrêts et améliorer le confort dans les véhicules et les zones d'attente, harmoniser les horaires et les tarifs des transports en commun, améliorer les services de taxi, réduire le transport par les motos pourvoyeur de plusieurs ATR sont également des interventions qui ont fait des preuves dans d'autres contextes [13].

D'autres interventions seraient de donner la priorité sur le réseau routier aux véhicules transportant plus de passagers, limiter la vitesse et la puissance des moteurs de deux-roues, relever l'âge légal d'utilisation des deux-roues motorisées, délivrer les permis de conduire par étapes, protéger les occupants des voitures en maintenant l'intégrité de l'habitacle des véhicules, en faisant en sorte que les passagers soient bien attachés, en maintenant des dispositifs de retenue des occupants dont la ceinture de sécurité. Les anti-démarrateurs éthylotests seraient utiles, il s'agit en effet des dispositifs de contrôle automatique conçus pour empêcher des conducteurs dont l'alcoolémie supérieure à la limite légale de démarrer leur véhicule [13]. Fixer les limites de vitesse et les faire respecter, instaurer des caméras de surveillance routière [23], adopter les lois de conduite en état d'ébriété et les appliquer, limiter l'alcoolémie de manière générale par catégorie de conducteur, organiser des campagnes médiatiques sur des sanctions que courent les usagers de la route à enfreindre la réglementation routière, appliquer des sanctions pour les contrevenants sans épargner certaines autorités récalcitrantes, imposer des horaires aux chauffeurs dans les transports en communs et les transports commerciaux sont des interventions efficaces. Décourager de conduire lorsqu'on est sous influence des drogues ou des médicaments, utiliser obligatoirement des sièges pour enfants, mettre en place des programmes et de publicités radiodiffusées d'encouragement à appliquer le code de la route, rendre obligatoire le port des casques pour les deux-roues et veiller à l'application de cette règle sont particulièrement indiqués dans le contexte de Goma. Il est important d'organiser la prestation des soins en cas d'accident (mettre en place la chaîne d'aide aux ATR, offrir des soins préhospitaliers, impliquer les simples spectateurs pour qu'ils informent immédiatement les instances d'aide en cas d'ATR, organiser l'accès immédiat aux services médicaux d'urgences) [27, 30], organiser les services de secours d'urgence pour limiter les dégâts matériels (les interventions de la police, des pompiers et des secouristes sont souvent nécessaire avant l'arrivée des équipes médicales). Ces services nécessitent d'avoir des

ressources humaines qualifiées pour les différents besoins en soins (traumatologie, psychologie, psychiatrie, réadaptation, recherche, etc.) et d'être équipés en matériels adéquats pour la prise en charge efficace des victimes. Il sera aussi nécessaire de rendre obligatoire l'assurance santé tant pour le passager que pour le conducteur au regard des blessures graves (24,5%) et légères (17,8%) observées.

4.2.2 STRATÉGIES CIBLANT LES VÉHICULES

La protection des occupants des véhicules contre les conséquences des collisions avec des objets en bord de route est envisageable en améliorant la conception des véhicules ou en installant dans les véhicules des amortisseurs d'impact. Les autres interventions viseraient à rendre les véhicules et motos plus visibles en les équipant des phares et à créer des avant de voitures plus sûrs pour les piétons et les cyclistes.

4.2.3 STRATÉGIES CIBLANT L'INFRASTRUCTURE ROUTIÈRE

Dans les pays sous équipés, les interventions pourront se focaliser à prévenir l'utilisation de la route qui ne correspond pas aux fonctions pour lesquelles elle a été conçue, à classer les routes et fixer les limites de vitesse selon leurs fonctions et à intégrer les dispositifs de sécurité dans la conception des routes. Il est indispensable de tenir compte de routes à grandes vitesses et de routes à chaussée unique. Pour les routes à grande vitesse, il est recommandé de séparer la circulation des deux-roues avec les camions et véhicules qui roulent dans le même sens [13]. Pour des routes à chaussée unique, une meilleure signalisation des dangers est indispensable, de même que l'éclairage des intersections et des ronds-points. Assurer un meilleur alignement vertical, limiter la vitesse en cas de virage, éliminer systématiquement des dangers en bord de route comme les arbres, les poteaux électriques, les marchandises et autres objets solides, appliquer des mesures correctrices aux endroits très accidentogènes, améliorer la signalisation, le marquage et l'éclairage de la route sont également des interventions conseillées [9, 13, 25].

5 CONCLUSION

La route demeure insécurisée tant par le comportement des conducteurs, l'état des routes et le véhicule lui-même. Plusieurs études ont prouvé qu'il existe nombreuses interventions pour prévenir les ATR et les conséquences qui en résultent dont les blessures graves et les décès. Cependant le fossé entre ce que l'on sait être efficace et ce qui se fait réellement est considérable. La présente étude retrace, à partir des données de la police routière, les principaux déterminants de la sécurité routière dans la ville de Goma et propose des recommandations pour réduire les ATR. La mise en œuvre de ces recommandations est fortement tributaire de la volonté politique des autorités de la Rd Congo.

REFERENCES

- [1] Mayou, R., B. Bryant, and R. Duthie, *Psychiatric consequences of road traffic accidents*. Bmj, 1993. **307**(6905): p. 647-651.
- [2] Mayou, R., A. Ehlers, and M. Hobbs, *Psychological debriefing for road traffic accident victims*. The British Journal of Psychiatry, 2000. **176**(6): p. 589-593.
- [3] Murray, J., A. Ehlers, and R.A. Mayou, *Dissociation and post-traumatic stress disorder: two prospective studies of road traffic accident survivors*. The British Journal of Psychiatry, 2002. **180**(4): p. 363-368.
- [4] Peden, M., et al., *World report on road traffic injury prevention*. 2004, World Health Organization Geneva.
- [5] Mayou, R. and B. Bryant, *Consequences of road traffic accidents for different types of road user*. Injury, 2003. **34**(3): p. 197-202.
- [6] Lefèvre, H., et al., *Disparités de mortalité «prématurée» selon le sexe et causes de décès «évitables»*. Revue d'épidémiologie et de santé publique, 2004. **52**(4): p. 317-328.
- [7] Jha, N., et al., *Epidemiological study of road traffic accident cases: A study from South India*. Indian J Community Med, 2004. **29**(1): p. 20-4.
- [8] Lalitha, K. and G.K. Ruther, *Road traffic accident*. International Journal of Research in Humanities, Arts and Literature, 2014. **2**(3): p. 83-84.
- [9] Parker, D., et al., *Behavioural characteristics and involvement in different types of traffic accident*. Accident Analysis & Prevention, 1995. **27**(4): p. 571-581.
- [10] Moafian, G., et al., *An epidemiologic survey of road traffic accidents in Iran: analysis of driver-related factors*. Chinese journal of traumatology, 2013. **16**(3): p. 140-144.
- [11] WHO, *Global status report on road safety 2015*. World Health Organization, 2015.

- [12] Nangana, L.S., et al., *Frequency, causes and human impact of motor vehicle-related road traffic accident (RTA) in Lubumbashi, Democratic Republic of Congo*. Environmental health and preventive medicine, 2016: p. 1-6.
- [13] Peden, M., *Rapport mondial sur la prévention des traumatismes dus aux accidents de la circulation*. 2004: World Health Organization.
- [14] Ruikar, M., *National statistics of road traffic accidents in India*. Journal of Orthopedics, Traumatology and Rehabilitation, 2013. **6**(1): p. 1.
- [15] Heron-Delaney, M., et al., *A systematic review of predictors of posttraumatic stress disorder (PTSD) for adult road traffic crash survivors*. Injury, 2013. **44**(11): p. 1413-1422.
- [16] Kandolo, S.I., et al., *Facteurs associés aux accidents de la route dans la ville de Lubumbashi*. Santé Publique, 2014. **26**(6): p. 889-895.
- [17] Talona L., M.A., Baonga L., Munyapara S., Wami W., *Profil épidémiologique des traumatisés par accidents de trafic routier aux cliniques universitaires de Kisangani*. KisMéd 2014. **5**(1): p. 51-57.
- [18] Mirindi Ngaboyirhu, P., *Profil épidémiologique des accidents du trafic routier à Bukavu en RDC*. Mémoire de fin d'études en Médecine. Université catholique de Bukavu, 2010.
- [19] Maas, M.W. and S. Harris, *Police recording of road accident in-patients: Investigation into the completeness, representativity and reliability of police records of hospitalized traffic victims*. Accident Analysis & Prevention, 1984. **16**(3): p. 167-184.
- [20] DPS, N.-K., *Rapport annuel de la Division Provinciale de la Santé du Nord Kivu*. Ministère de la Santé publique de la RD Congo, 2015.
- [21] Lévy, R., *Scripta manent: la rédaction des procès-verbaux de police*. Sociologie du travail, 1985: p. 408-423.
- [22] Luzolo, B., *Manuel de procédure pénale*. Presse Universitaire du Congo, Kinshasa, 2011: p. 212-213.
- [23] Favrat, B., et al., *Sécurité routière: moins de morts et de blessés grâce aux radars?* Rev Med Suisse, 2013. **9**: p. 1968-1969.
- [24] Mpondo, G.B., et al., *Étude exploratoire de la sécurité routière à Brazzaville et à Pointe-Noire en République du Congo*. Santé Publique, 2014. **1**(HS): p. 71-79.
- [25] Azzeddine, M. and T. Ghiat, *Les principales causes des accidents de la circulation routière et les mesures d'atténuation en Algérie*. European Scientific Journal, 2015. **11**(20).
- [26] Bastida, J.L., P.S. Aguilar, and B.D. González, *The economic costs of traffic accidents in Spain*. Journal of Trauma and Acute Care Surgery, 2004. **56**(4): p. 883-889.
- [27] Jones, A.P. and G. Bentham, *Emergency medical service accessibility and outcome from road traffic accidents*. Public Health, 1995. **109**(3): p. 169-177.
- [28] Sánchez-Mangas, R., et al., *The probability of death in road traffic accidents. How important is a quick medical response?* Accident Analysis & Prevention, 2010. **42**(4): p. 1048-1056.
- [29] McGreevy, J., et al., *Road traffic injuries in Yaounde, Cameroon: A hospital-based pilot surveillance study*. 2014.
- [30] WHO, *Sécurité routière dans la Région de la Méditerranée orientale: faits tirés du rapport de situation sur la sécurité routière dans le monde 2013*. World Health Organization, 2013.

